LA PHOTOGRAPHIE

ET

SES APPLICATIONS SCIENTIFIQUES.



PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS,
Quai des Grands-Augustins, 55.

ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES.

LA PHOTOGRAPHIE

ET

SES APPLICATIONS SCIENTIFIQUES,

PAR

M. R. RADAU.



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,

Quai des Augustins, 55.

1878

LA PHOTOGRAPHIE

ET

SES APPLICATIONS SCIENTIFIQUES.

On peut dire que, grâce à la Photographie, nous sommes entrés dans une familiarité plus intime avec la réalité qui nous entoure, avec ce milieu terrestre où nous vivons. Elle nous assujettit le monde des formes. Et cela sera plus vrai quand on saura mieux s'en servir. La plaque sensible, ce miroir magique qui garde l'image des corps et fait prisonnier l'instant fugitif, deviendra, cela est certain, l'un des auxiliaires les plus précieux des sciences d'observation. Il y a seulement lieu de s'étonner que les applications si nombreuses que comporte la Photographie aient tant tardé à entrer dans la pratique courante des hommes de science, et que, même aujourd'hui, on ne puisse encore signaler que des tentatives isolées.

Pourtant les premiers essais qui eurent pour but de la mettre au service de quelques sciences, notamment de l'Histoire naturelle et de l'Astronomie,

datent presque de l'année même où Niepce et Daguerre publièrent leur admirable découverte. Dans sa Notice sur le daguerréotype, Arago rapporte que dès 1840 Daguerre avait essayé, sur ses instances, de fixer sur une lame d'argent l'image de la Lune qui brillait dans un ciel pur : il fut du moins constaté que les rayons lunaires agissaient sur l'iodure d'argent. En 1845, MM. Fizeau et Foucault obtiennent, par le même procédé, une image du Soleil qui a été reproduite par la gravure. En 1849, M. Faye recommande l'emploi de la Photographie pour l'observation des passages du Soleil au méridien. L'année suivante, l'astronome américain William Bond réussit à prendre un daguerréotype de la Lune qui paraît déjà assez satisfaisant, et qui est présenté à l'Académie des Sciences, au mois de juin 1851, de la part du fils de M. Bond, de passage à Paris. Un mois plus tard, une éclipse de Soleil donne lieu à des expériences photographiques qui sont tentées à Rome, à Paris, à Kœnigsberg. C'est l'époque où la merveilleuse invention commence à tenir une certaine place dans les préoccupations des astronomes soucieux de progrès.

Mais la partie technique du nouvel art ne faisait que de lents progrès ; les agents chimiques employés au début n'étaient pas suffisamment sensibles à l'action d'une lumière faible, les procédés n'étaient rien moins que rapides, et les résultats obtenus par les astronomes qui avaient appelé à leur aide la Photographie laissaient à désirer, si

bien qu'en 1868 un des vétérans de la Science, J.-H. Mædler, doutait encore de l'avenir de cette innovation.

« Aussitôt après la découverte de la Photographie, disait-il dans une conférence, on entendit exprimer des espérances qui n'ont d'analogues que celles de Descartes et de ses contemporains à la suite de la découverte des lunettes astronomiques. On plaignait les malheureux savants qui avaient passé leur vie à observer, à mesurer et à dessiner. Non-seulement on devait faire la même chose sans peine et en moins de temps, mais on devait obtenir des résultats bien meilleurs, plus exacts, plus détaillés qu'auparavant. Ce qui m'a coûté sept années, la carte topographique de la Lune, devait être bien mieux fait en sept secondes. Aujourd'hui trente années se sont écoulées depuis la découverte de Daguerre; comment ces espérances ambitieuses ont-elles été réalisées? » La réponse est tout à fait pessimiste : les Photographies d'objets célestes sont loin de montrer autant de détails qu'en peut saisir un observateur exercé et doué d'une bonne vue, et en somme Mædler conclut que la Photographie ne nous apprendra pas grand'chose de nouveau sur les astres que nous pouvons étudier si facilement à l'aide de nos grandes lunettes ([1]).

On sent dans ces critiques amères le dépit de

([1]) G. Tissandier, *Les Merveilles de la Photographie*, p. 256.

l'homme qui a perdu ses yeux à scruter le ciel, et qui assiste à l'avénement d'un art nouveau dont la prétention est de remplacer par un tour de main le patient travail qui lui a coûté tant de veilles et tant d'efforts. Il lui répugnerait de dire : « La Photographie a tué l'observation, » comme Paul Delaroche, sortant d'une séance chez Daguerre, s'écriait : « La peinture est morte à dater de ce jour. » La peinture n'est pas morte, et la Photographie ne tuera jamais l'observation; mais chaque jour confirme l'espoir qu'elle en agrandira le champ d'une manière prodigieuse.

Si l'on a pu avec quelque raison reprocher à la Photographie de rabaisser l'art parce qu'elle ne peut donner, « au lieu d'une image du vrai, qu'une effigie brute de la réalité », cette fidélité de la reproduction est précisément son mérite principal dès qu'il s'agit d'une application scientifique. Le peintre, et même le graveur, doivent traduire et commenter; mais la Science préfère le mot à mot.

Il est inutile d'insister sur les services que la Photographie a déjà rendus et qu'elle rendra encore aux Sciences naturelles par la reproduction fidèle des objets qui sont de leur domaine : animaux et plantes, tout ce qui frappe le regard peut être instantanément inventorié et catalogué avec tous ces détails infimes que le dessinateur le plus exercé oublie si facilement. Le microscope lui-même confie ses révélations à la plaque sensible, et la *photomi-*

crographie est devenue une branche importante de la science des infiniment petits.

Mais cette facilité avec laquelle nous pouvons désormais saisir et fixer les détails d'un objet n'est peut-être pas le plus important des services que la Photographie est appelée à rendre aux observateurs; ce qui est plus précieux, c'est qu'elle permet d'enregistrer les phénomènes qui se succèdent rapidement, qui ne durent qu'un temps très-court, une fraction de seconde. De ce nombre sont les phénomènes astronomiques instantanés, les variations incessantes des éléments météorologiques et celles du magnétisme terrestre, le jeu si prompt des organes vivants. La Photographie nous met à l'abri des erreurs qui naissent du trouble inséparable d'une observation précipitée, et elle nous dispense aussi de guetter les phénomènes, de les surveiller avec une pénible assiduité.

La révolution qu'elle commence à opérer dans les méthodes d'observation, en remplaçant l'œil par la plaque sensible, n'est pas sans analogie avec celle qui a suivi l'introduction des machines dans les ateliers industriels. C'est, dans les deux cas, une incalculable économie de travail.

I.

LA PHOTOGRAPHIE CÉLESTE.

La Photographie astronomique comprend, en premier lieu, la représentation de la surface des corps célestes assez rapprochés de nous pour que le télescope ait prise sur eux et puisse nous en donner une image grossie ; on a réussi à photographier le Soleil avec ses taches et ses facules, puis la Lune avec tous les détails de sa surface accidentée, enfin les grosses planètes, telles que Jupiter, Mars, Saturne. En second lieu, il est possible d'obtenir par ce moyen des images exactes des groupes stellaires, et de déterminer ainsi instantanément la situation relative de certaines étoiles pour une époque donnée. La Photographie permet encore d'observer en quelque sorte automatiquement les éclipses, les passages de planètes au devant du Soleil, les occultations de planètes par la Lune, les passages des astres au méridien pour la détermination de l'heure absolue ; elle permet de reproduire le spectre solaire avec toutes

ses raies et d'en étendre les limites bien au delà des rayons visibles.

Nous avons déjà vu que les premières tentatives de « Photographie céleste » avaient été faites en France. Vers 1850, elles furent reprises dans divers pays à la fois. William Cranch Bond, à Cambridge, en Amérique, obtenait de bonnes images de la Lune, des étoiles Véga et Castor; le P. de Vico essayait, sans succès il est vrai, de photographier la nébuleuse d'Orion; le Rév. J.-B. Reade faisait de la photographie stellaire à l'observatoire du Dr Lee, à Hartwell, et à son observatoire du vicariat de Stone; le P. Secchi, à Rome, et Berkowski, à Kœnigsberg, tentèrent de photographier l'éclipse du 28 juillet 1851; enfin M. Warren de la Rue commença, en 1852, ses travaux de Photographie céleste dans sa maison de Canonbury, à Londres, en substituant aux procédés de Daguerre ceux de Fox Talbot. A cette époque, le temps de pose était encore considérable, et il fallait suivre à la main le mouvement de la Lune pendant toute la durée de l'opération; mais, en 1857, M. Warren de la Rue réussit à simplifier son procédé. Le temps de pose fut réduit, pour la Lune, à neuf ou dix secondes, à douze secondes pour Jupiter, à une minute pour Saturne, à deux ou trois minutes pour les étoiles les plus brillantes.

M. Warren de la Rue se fit alors construire un observatoire spécialement approprié à ce genre de recherches au village de Cranford, à 20^{km} à l'ouest

de Hyde-Park ([1]). L'instrument principal de cet établissement était un télescope newtonien, de 13 pouces d'ouverture et de 10 pieds de longueur focale, dont le miroir avait été fait par M. Warren de la Rue lui-même, et qui était monté équatorialement, c'est-à-dire de façon qu'il pût tourner autour d'un axe parallèle à l'axe du monde et suivre ainsi la progression diurne des astres sous l'impulsion d'un mouvement d'horlogerie.

Obligé depuis quelques années, par l'affaiblissement de sa vue, à renoncer aux travaux de cette nature, M. Warren de la Rue a fait don de son télescope et de tout son attirail de photographie à l'observatoire savilien d'Oxford, qui a été récemment créé pour servir exclusivement aux recherches d'Astronomie physique ([2]).

M. Warren de la Rue a obtenu de très-belles photographies de la Lune et du Soleil, des grosses planètes; plusieurs de ces images ont été reproduites par la gravure et figurent aujourd'hui dans beaucoup de livres populaires. L'habile astronome anglais ne s'est pas d'ailleurs contenté de prendre les images de ces corps célestes à un moment

---

([1]) Voir l'*Astronomie pratique et les Observatoires en Europe et en Amérique*, par MM. C. André et Rayet, 1874. Gauthier-Villars.

([2]) Oxford possède en outre un célèbre observatoire astronomique connu sous le nom de *Radcliffe Observatory*, et dont la construction fut commencée en 1871 à l'aide d'un legs du Dr Radcliffe. L'observatoire nouveau porte le nom de sir H. Savile, qui a fondé une chaire d'Astronomie à l'Université d'Oxford.

donné, il en a obtenu des vues stéréoscopiques en combinant deux photographies prises à des intervalles déterminés.

On sait que la perception du relief repose sur la coexistence des deux images d'un objet qui se peignent sur les rétines des deux yeux, et qui correspondent à deux points de vue différents. Le stéréoscope produit de même l'illusion du relief en présentant à chaque œil, au moyen de deux photographies prises de deux points de vue convenables, les images que l'œil recevrait de l'objet lui-même, placé à la distance de la vision distincte. L'angle formé par les axes optiques des deux yeux dirigés sur un même point qui s'aperçoit nettement est de près de 16°, en supposant que les deux yeux sont écartés de $6^c,5$, et que la distance de la vue distincte est de 24^c; on peut donc admettre que l'angle stéréoscopique ou l'écart angulaire des points de vue, nécessaire pour faire naître la sensation du relief, est tout au plus de 16°.

Lorsqu'il s'agit du Soleil, la rotation de cet astre produit en peu de temps le changement de position voulu; mais la Lune nous montre toujours la même face, et le problème paraît, à première vue, insoluble. Heureusement l'immobilité de la face lunaire n'est pas absolue; on y remarque une sorte de balancement apparent qu'on désigne sous le nom de *libration*, et qui produit des changements de position qui peuvent aller jusqu'à 16°. Il s'ensuit que les phases de la libration nous offrent les

moyens d'obtenir des vues stéréoscopiques de notre satellite, qui font de la carte plate du disque lunaire un plan de relief.

Les vues stéréoscopiques font nettement ressortir la sphéricité des corps célestes qu'elles représentent. Les cratères de la Lune, l'anneau de Saturne, les taches et les facules du Soleil, y prennent un relief saisissant; on *voit* que les facules sont des élévations, et les taches des creux. Un astronome russe, M. Goussef, en discutant des mesures micrométriques prises sur deux photographies lunaires, est arrivé à cette conclusion que la Lune est un sphéroïde légèrement allongé dans la direction de la Terre.

Photographies lunaires.

Les photographies lunaires de M. Warren de la Rue ont gagné en perfection à mesure que se perfectionnaient les méthodes elles-mêmes entre les mains des nombreux amateurs qui cultivent cette application de la Chimie; puis d'autres astronomes sont arrivés à lui disputer la palme sur ce terrain : le P. Secchi à Rome, M. Rutherfurd à New-York, M. Ellery à Melbourne, M. Neyt à Gand, M. Gould à Cordoba (Amérique du Sud), M. Janssen à Paris.

M. Rutherfurd a obtenu de très-belles épreuves de la Lune avec des temps de pose qui ont varié d'un quart de seconde, dans la pleine lune, à

deux secondes, pour le premier et le dernier quartier. En présentant à l'Académie des Sciences, au mois de novembre 1872, des spécimens de ces photographies, M. Faye disait : « Il suffit d'un coup d'œil sur ces magnifiques épreuves pour faire apprécier les services qu'elles pourraient rendre à l'étude de la géologie lunaire. Les grandes lignes lumineuses, sortes de cassures dessinant des arcs de grand cercle, se croisent suivant des angles qu'il est possible de mesurer avec une certaine exactitude..... Les cirques, les cratères, et jusqu'aux moindres fosses circulaires que la surface de la Lune nous présente en si grand nombre, y sont représentés à grande échelle, avec une fidélité saisissante qu'aucune carte topographique ne saurait reproduire. On pourra y étudier pas à pas les variétés nombreuses de ces types divers, si semblables de prime abord à nos volcans éteints, et si différents toutefois, à certains égards, de leurs analogues terrestres. Ici la Photographie donne les hauteurs (dans la région des ombres portées) aussi bien que les dimensions linéaires dans le sens horizontal. » La teinte sombre des « mers lunaires » ressort avec énergie du milieu éclatant des contrées montagneuses ; on est frappé de l'idée que l'on a sous les yeux de vastes épanchements figés qui ont effacé les accidents antérieurs de la surface.

En fixant une image parfaite de notre satellite sur la table de travail, ces photographies permet-

tent des recherches suivies à tête reposée. Or Élie de Beaumont a montré quel parti les géologues pourraient tirer de l'étude de la surface lunaire, dont les accidents n'ont jamais été dénaturés par l'action destructive des eaux, ni par l'action plus lente d'une atmosphère quelconque. Ajoutons que la comparaison des épreuves obtenues à de longs intervalles permettrait de décider s'il survient encore des changements à la surface de la Lune, ou si l'activité des forces volcaniques y est définitivement épuisée.

Une expression d'Herschel, mal comprise de ceux qui le citaient, a fait croire un moment qu'il avait aperçu dans la Lune des volcans en ignition. Herschel s'était servi du mot de *volcans* pour désigner des points faiblement lumineux qui restaient visibles dans les régions lunaires envahies par l'ombre ; mais il ajoutait qu'il n'employait ce mot que pour abréger le discours. Les points lumineux en question n'étaient autre chose que les cratères rayonnants Aristarque, Kepler et Copernic, tous trois situés dans l'océan des Tempêtes, qui se distinguent par l'éclat particulier de leur surface : on les voit encore faiblement briller au sein de la partie obscure du disque lunaire, qui n'est éclairée que par la « lumière cendrée », empruntée à la Terre. Les mêmes points, et beaucoup d'autres, s'aperçoivent pendant les éclipses de Lune, comme de petites taches rougeâtres sur le fond brun foncé de la surface de l'astre éclipsé.

Il est clair qu'il ne s'agit là que d'effets de lumière, et nullement de phénomènes volcaniques. Mais deux observateurs anglais, MM. Webb et Birt, ont signalé récemment plusieurs faits d'où il résulterait que, d'après l'expression d'Élie de Beaumont, « la vie géologique existe encore dans l'intérieur du globe lunaire ». Ils ont remarqué de grandes différences entre les dessins que Schröter d'abord, en 1792, puis, quarante ans plus tard, Beer et Mædler, avaient donnés du cratère Cichus; ils ont constaté eux-mêmes des changements de formes dans les deux cratères Messier, qui en 1857 ne ressemblaient plus guère au dessin de Mædler, lequel avait été vérifié bien des fois de 1829 à 1837.

Enfin, au mois d'octobre 1866, M. J. Schmidt, directeur de l'observatoire d'Athènes, annonçait que le cratère Linné, situé dans la mer de la Sérénité et marqué sur la carte de Mædler, qu'il avait étudié lui-même en 1841, semblait avoir disparu, c'est-à-dire qu'il n'en restait qu'un point noir à peine perceptible au milieu d'une large tache blanche. Plusieurs astronomes en possession de bons instruments, notamment MM. Huggins, Secchi, Wolf, d'Arrest, s'empressèrent d'examiner avec soin le cratère en question : tout ce qu'on peut conclure de la discussion de leurs observations, c'est qu'il n'est pas impossible que la cavité dessinée par Mædler ait été comblée en grande partie par une éruption récente de matières blanchâtres.

Toutefois les modifications d'aspect que produisent les conditions très-variables de l'illumination sont si considérables que ces observations ne suffiraient pas à nous convaincre de la réalité de changements survenus à la surface de la Lune. Un fait plus décisif vient d'être annoncé par M. H.-J. Klein. Au mois de mai 1877, cet observateur a découvert un cratère nouveau très-profond et large d'environ 5 kilomètres, dans la mer des Vapeurs, un peu au nord-ouest d'Hyginus, dans une région qui avait été soigneusement explorée par les astronomes et qu'il avait lui-même examinée très-souvent depuis douze ans. Ni Schröter, ni Lohrmann, ni Mædler, n'ont vu ce cratère; M. J. Schmidt ne le connaissait pas davantage; mais la découverte de M. Klein a été confirmée cette année par plusieurs membres de la Société sélénographique de Londres. Il paraît donc prouvé qu'il s'opère encore des changements sur la Lune. De bonnes photographies, prises à des intervalles réguliers, jetteraient évidemment un grand jour sur cet intéressant problème d'Astronomie physique. La Photographie fournirait aussi d'utiles indications sur les variations d'aspect des bandes de Jupiter, des taches de Mars, etc.

Photographies du Soleil.

Sir John Herschel avait mis en avant, dès 1854, l'idée de faire photographier le Soleil d'une manière

suivie dans l'un des nombreux observatoires que possède l'Angleterre. On pouvait se promettre d'obtenir ainsi, sur la formation, la durée et le mouvement de taches solaires, des notions plus exactes et plus complètes que celles auxquelles on était arrivé en dessinant laborieusement les détails de structure observés directement à l'aide d'une lunette munie d'un verre noir.

Le projet de sir John Herschel fut repris en 1857 par M. Warren de la Rue, qui proposa au conseil de la Société astronomique de le mettre à exécution à l'observatoire de Kew, qui appartient à la fois à l'Association britannique pour l'avancement des sciences, à la Société royale de Londres, etc., et qui est aussi l'observatoire météorologique central de l'Angleterre. La proposition fut acceptée, et, dès le mois d'août 1858, un *photohéliographe,* construit sous la direction de M. Warren de la Rue, commençait à fonctionner à Kew. C'est une lunette de $1^{m},50$ de longueur focale, montée équatorialement et mue par un mouvement d'horlogerie; elle fournit une image solaire de $0^{m},30$ de diamètre (1), qui vient se peindre sur une plaque collodionnée que l'on introduit dans la chambre noire fixée à l'extrémité du tube.

En 1860, l'année même de la grande éclipse de Soleil que M. Warren de la Rue alla observer en

(1) Ces dimensions résultent de l'agrandissement de l'image focale par l'oculaire.

Espagne et dont il obtint trente et une épreuves, le photohéliographe fut transporté à Cranford, l'installation du service météorologique à Kew absorbant alors toutes les forces de cet établissement, et pendant trois ans on fit à Cranford des photographies du Soleil et de la Lune; mais en 1863 l'instrument fut ramené à Kew et réinstallé dans son ancien dôme. En dix ans, de 1862 à 1872, on a fait avec cet instrument, sous la direction de MM. Warren de la Rue, Balfour Stewart et Benjamin Lœwy, 2778 photographies du Soleil, obtenues en 1721 jours d'observations [1]. M. Warren de la Rue s'était engagé à supporter les frais de ces observations pendant cette période de dix ans, qui prit fin en 1872. Le photohéliographe fut alors démonté et envoyé dans les ateliers de M. Dallmeyer pour y subir quelques retouches; depuis le mois d'octobre 1873, il est installé à l'Observatoire de Greenwich, tandis qu'à Kew on continue d'observer le Soleil par l'ancienne méthode des projections. Vers la même époque, M. Dallmeyer fut chargé de construire des photohéliographes pour les observatoires de Wilna et de Lisbonne, où ces instruments fonctionnent régulièrement.

Mais le rôle de la Photographie n'est pas borné à la reproduction fidèle des détails que l'œil peut saisir lorsqu'il est armé d'une puissante lunette;

---

[1] Le nombre des jours d'observations varie de 125 à 223 par an.

elle peut devenir, entre des mains habiles, un instrument de découvertes. Les études que M. Janssen a commencées en 1874 et qu'il poursuit depuis deux ans à l'observatoire de Meudon, avec la lunette qui avait été construite pour le passage de Vénus, ont montré que dans certaines circonstances l'image photographique du Soleil peut révéler des phénomènes qui se dérobent à l'observation directe. C'est ainsi que les photographies solaires que M. Janssen a obtenues dans ces derniers temps l'ont conduit à la découverte de ce qu'il appelle le *réseau photosphérique*.

Depuis deux siècles et demi, l'attention des astronomes s'était principalement concentrée sur ces accidents de la surface solaire que l'on désigne sous le nom de *taches* et de *facules*; or il semble que l'étude de ces grands bouleversements est presque épuisée aujourd'hui, et qu'il faudra désormais, pour faire avancer nos connaissances sur la constitution du Soleil, aborder d'une manière plus sérieuse l'étude de la photosphère normale. La grande difficulté était jusqu'ici de bien reconnaître, dans cet océan de feu, la forme des granulations, de ces « grains de riz » ou « feuilles de saule » que l'on distingue vaguement et qui semblent former des courants de matière à demi liquide. Les clichés photographiques d'une faible dimension ne nous apprenaient rien de plus sur ces agglomérations mystérieuses.

D'après M. Janssen, la raison de cet insuccès

doit être cherchée dans un phénomène d'*irradiation* qui fait que l'image formée par une lumière très-vive déborde un peu son contour et prend sur le cliché des dimensions plus grandes que ses dimensions réelles. C'est ce que l'on a constaté sur toutes les photographies d'éclipses totales : les images des protubérances empiètent sur le disque lunaire de quantités qui peuvent aller à 10″ et à 20″ (1). Des effets de ce genre doivent se manifester aussi pour l'œil, puisque la vision résulte en définitive d'une impression photochimique produite sur la rétine. Or le diamètre moyen des granulations de la photosphère n'est que d'une seconde d'arc ; on comprend dès lors qu'une irradiation même très-faible suffit pour noyer dans une lumière confuse tous les détails de leurs contours.

M. Janssen a réussi à lever la difficulté en agrandissant l'image et en abrégeant notablement la durée de l'exposition. L'irradiation diminue rapidement à mesure qu'on augmente le diamètre des images, surtout si le temps de pose diminue aussi ; en outre, les détails se distinguent plus facilement, et les imperfections de la couche sensible ont moins d'importance lorsqu'on opère sur une échelle plus grande. Enfin M. Janssen a reconnu que, dans les très-courtes poses, les rayons qui agissent sur la plaque sensible se réduisent à

(1) D'après le P. Secchi, cet empiétement s'expliquerait plutôt par le mouvement de la Lune.

un groupe presque monochromatique, circonstance qui contribue beaucoup à la netteté de l'image. Les épreuves que l'on obtient maintenant à l'observatoire de Meudon ont un diamètre de $30^c,5$; le temps de pose n'est qu'une faible fraction de seconde. La préparation du collodion et le développement des clichés sont l'objet de soins tout particuliers.

« Les images solaires, dit M. Janssen, demandent des procédés photographiques d'une très-grande perfection; ici les plus petits défauts sont révélés impitoyablement, et, comme les détails à mettre en évidence sont d'une délicatesse extrême, il faut que la couche soit d'une finesse et d'une pureté extrêmes. » Grâce à toutes ces précautions, la constitution de la photosphère du Soleil cessera peut-être bientôt d'être un mystère pour nous.

On remarque d'abord une fine granulation générale qui couvre toute la surface du Soleil; les grains, plus ou moins arrondis, ont des diamètres qui varient de quelques dixièmes de seconde à $3''$ et $4''$. Le pouvoir éclairant de ces éléments granulaires est très-inégal, sans doute parce qu'ils sont situés à des profondeurs très-différentes : les éléments les plus lumineux n'occupent qu'une petite fraction de la surface de l'astre.

Mais le résultat le plus curieux que révèle l'inspection de ces images, c'est que la photosphère est divisée en une multitude de compartiments, à contours arrondis ou polygonaux, dont les dimensions

atteignent quelquefois une minute et plus (le diamètre du disque entier est d'environ 32′). Dans les intervalles qui séparent ces figures, les grains sont nets, bien terminés; « dans l'intérieur, ils sont comme à moitié effacés, étirés, tourmentés; le plus ordinairement même, ils ont disparu pour faire place à des traînées de matière qui remplacent la granulation ». On dirait que, dans ces espaces, un bouillonnement violent a brassé et confondu les éléments granulaires. C'est une nouvelle confirmation de ce fait, que l'activité de la photosphère est toujours très-grande, même lorsqu'il n'y a pas de taches.

L'*Annuaire du Bureau des Longitudes pour* 1878 renferme une épreuve obtenue par M. Janssen le 10 octobre dernier, et grandie trois fois, où l'on reconnaît très-bien les détails dont il vient d'être parlé. Ce qui empêche de constater l'existence du « réseau photosphérique » par l'observation directe, c'est que les forts grossissements restreignent beaucoup le champ des lunettes; en examinant au contraire une épreuve photographique avec une loupe qui embrasse une certaine étendue de l'image, on voit tout de suite que les parties à granulation distincte dessinent des courants qui circonscrivent les espaces où les grains sont effacés. On aperçoit aussi, entre les granulations, des points très-noirs où la couche photosphérique doit avoir une épaisseur très-faible. Nul doute qu'en poursuivant cette investigation si bien commencée on

n'arrive à bien d'autres révélations sur la nature intime du globe solaire.

Éclipses.

C'est ensuite pour l'observation de phénomènes astronomiques d'une très-courte durée, comme les éclipses ou les passages de planètes au devant du Soleil, que la Photographie pourra être substituée avec avantage à l'observation directe. Une éclipse de Soleil peut durer quelques heures, mais la durée de l'obscurité totale ne dépasse jamais 8′, et elle est généralement beaucoup plus courte. Or il s'agit, dans ce bref délai, d'explorer tout le contour du disque solaire caché par la Lune, de noter la forme et la position des protubérances roses, de déterminer l'étendue de la couronne, d'observer en outre les instants des contacts qui marquent le commencement et la fin de la totalité. Naturellement, tout cela se fait avec une hâte fiévreuse, et il est difficile de garder tout son sang-froid en présence des splendides phénomènes qu'il faut inventorier pendant les quelques minutes qu'un coin du voile de lumière qui nous les cache reste levé.

J'ai déjà parlé des tentatives qui furent faites en 1851 par divers observateurs pour obtenir des daguerréotypes d'une éclipse de Soleil. L'éclipse du 15 mars 1858, qui était visible à Paris, fut photographiée, sous la direction de M. Faye, dans les ateliers de l'opticien Porro, à l'aide d'une lunette

de $0^m,52$ d'ouverture et de 15^m de longueur focale. C'était un lundi, jour des séances de l'Académie des Sciences, et une heure après M. Faye put présenter à l'illustre Compagnie un cliché au collodion sec, où le diamètre de l'image solaire, obtenue directement au foyer, sans agrandissement ultérieur, était de $0^m,14$. Les mesures micrométriques prises sur les épreuves de cette éclipse ne laissèrent aucun doute sur la précision à laquelle il est possible d'atteindre par cette méthode.

En outre, la facilité relative avec laquelle MM. Porro et Quinet avaient réussi à obtenir des clichés satisfaisants fut aux yeux de M. Faye un argument décisif en faveur de l'emploi des objectifs à très-long foyer qui dessinent immédiatement sur la plaque sensible une image de grande dimension. La méthode généralement suivie, qui consiste à employer un objectif à court foyer donnant une très-petite image focale, qu'on agrandit à l'aide d'un appareil spécial pour la projeter sur la plaque sensible, permet, il est vrai, de faire usage d'instruments plus maniables, mais cet avantage est compensé par les inconvénients qui résultent de la déformation de l'image agrandie ([1]).

L'éclipse totale de Soleil du 18 juillet 1860, qu'un grand nombre d'astronomes étaient allés

---

([1]) On a vu pourtant que M. Janssen trouvait l'agrandissement des images avantageux pour la reproduction des détails de la surface solaire.

observer en Espagne, fut photographiée avec succès par M. Warren de la Rue, à Rivabellosa, et par le P. Secchi, au Desierto de las Palmas. On constata que les protubérances émettent une lumière beaucoup plus intense que la « couronne » qui enveloppe tout le contour du Soleil, de sorte que le temps de pose est plus long lorsqu'on veut obtenir de bonnes images de la couronne que lorsqu'on s'attache à reproduire la forme des protubérances. La comparaison des photographies obtenues par M. Warren de la Rue et par le P. Secchi permit aussi de trancher la question de l'origine des protubérances : il fut démontré que ces appendices roses n'étaient nullement de simples apparences produites par des illusions d'optique, mais des phénomènes réels, ayant leur siége dans le Soleil. Depuis cette époque, grâce à M. Janssen et à M. Lockyer, on a trouvé le moyen de les observer tous les jours en dehors des éclipses.

M. Faye avait fait construire, pour cette éclipse, tout un attirail photographique ingénieusement combiné ; mais, au dernier moment, il dut renoncer à prendre part à l'expédition organisée par l'Observatoire de Paris, qui ne fit usage que des instruments de mesure ordinaires ([1]). En Algérie, M. Laussedat avait réussi à photographier le Soleil

---

([1]) C'est à cette occasion que M. Faye présenta à l'Académie un cliché obtenu à l'aide d'une petite lunette méridienne de M. Porro, où l'image solaire était imprimée avec le réticule de la lunette, pendant qu'un enregistreur électrique notait le temps.

à l'aide d'une lunette horizontale fixe, à laquelle le miroir mobile d'un héliostat renvoyait l'image de l'astre. C'est cette disposition qui a été plus tard adoptée par beaucoup d'astronomes pour l'observation photographique du passage de Vénus.

L'éclipse totale du 18 août 1868 a été photographiée à Guntoor, dans l'Inde, sous la direction du major Tennant, et à Aden, sous la direction de M. Vogel. Celle du 7 août 1869 a fourni aux Américains l'occasion d'entrer dans l'arène à leur tour; une centaine de photographes, munis de trente lunettes, furent distribués en une foule de stations choisies, principalement dans l'état d'Iowa, et 279 bonnes épreuves de l'éclipse furent obtenues sous l'intelligente direction de MM. Morton, Gould et Whipple. Une expédition anglaise envoyée en Sicile pour observer l'éclipse du 22 septembre 1870 fut moins heureuse : le mauvais temps empêcha la plupart des observations. L'éclipse du 12 décembre 1871 a été photographiée dans l'Inde et à Java ; en 1873 et en 1875, on a aussi observé des éclipses par ce moyen.

Passages de Vénus.

Le passage de la planète Vénus sur le Soleil, qui a eu lieu le 6 décembre 1874, a fourni à la méthode photographique une belle occasion de faire ses preuves. Les préparatifs qu'on faisait en vue de cet événement étaient gigantesques. En Angleterre,

on construisait huit photohéliographes, dont trois pour la Russie, sur le modèle de celui de Kew. En août, une vingtaine d'expéditions étaient munies d'appareils photographiques qui ont parfaitement fonctionné : « Voilà, disait M. Faye en annonçant ces préparatifs, ce que produit l'idée simple, mais féconde, de supprimer l'observateur et de remplacer son œil et son cerveau par une plaque sensible, reliée à un télégraphe électrique. C'est, dans le système des observations modernes, un progrès presque comparable à celui qui a été réalisé il y a deux siècles par l'application des lunettes aux instruments de mesure. »

Dans ce grand tournoi scientifique, la France a été dignement représentée par six expéditions qui comprenaient, outre deux naturalistes (MM. Filhol et Delisle), quinze observateurs, astronomes ou physiciens, aidés d'autant d'auxiliaires, et mettaient en mouvement plus de cinquante personnes. Les crédits alloués par l'Assemblée nationale pour les frais de ces missions ont atteint la somme de 425000^{fr}. On avait choisi trois stations dans l'hémisphère austral (l'île Campbell, l'île Saint-Paul, Nouméa), et trois dans l'hémisphère boréal (Pékin, Nagasaki, Saïgon); chacune de ces stations disposait d'une lunette de 6^{po}, et les quatre stations les plus importantes (Campbell, Saint-Paul, Pékin, Nagasaki) avaient en outre des équatoriaux de 8^{po}; enfin toutes ces stations, à l'exception de Saïgon, étaient munies de lunettes photographiques du

modèle que nous avons décrit, sans compter les appareils spéciaux qui avaient été construits pour M. Janssen.

La Commission française chargée d'arrêter un plan d'observations avait en définitive recommandé l'emploi de lunettes de 4^{m} de longueur focale et de $0^{m},14$ (5^{po}) d'ouverture, installées dans une position horizontale et combinées avec un miroir mobile; l'image solaire devait être obtenue directement au foyer de l'objectif, sur une surface d'argent ioduré, le procédé de Daguerre ayant paru préférable à l'emploi du collodion ([1]). De son côté, M. Janssen avait imaginé, pour son propre usage, un « revolver photographique », où la plaque sensible tourne de manière que tous les points de sa circonférence défilent devant une petite ouverture par laquelle arrive la lumière.

Les six missions ne furent pas également favorisées par la fortune. Tandis que MM. Mouchez, Cazin, Turquet de Beauregard, à l'île Saint-Paul; André et Angot, à Nouméa; Fleuriais, Blarez, Lapied, à Pékin; Janssen, Tisserand, Picard, Delacroix, au Japon; Héraud, à Saïgon, obtinrent un succès plus ou moins complet, à l'île Campbell, où s'étaient rendus MM. Bouquet de la Grye, Hatt et Courvejoles, le passage ne put être observé. Ce n'est pas tout : trois hommes de l'équipage furent atteints de la fièvre typhoïde, et deux succom-

---

([1]) Rapport de M. Fizeau, du 3 mars 1873.

bèrent. L'expédition de l'île Campbell, pour avoir été moins heureuse que les autres, n'en avait pas moins fait son devoir avec une abnégation digne des plus grands éloges. Au reste, si le but principal de la mission ne fut pas atteint, M. Bouquet de la Grye a rapporté une riche moisson de documents intéressants la Physique du globe et l'Histoire naturelle; les collections recueillies par M. Filhol remplissaient vingt-deux caisses.

La Commission de l'Académie des Sciences avait fait fabriquer 2000 plaques daguerriennes (400 pour chacune des cinq stations qui avaient des appareils photographiques); on y avait employé 10^{kg} d'argent. Les épreuves obtenues, au nombre de 800 ([1]), furent confiées à M. Fizeau, qui fit immédiatement commencer les mesures micrométriques dont la discussion doit fournir la valeur de la parallaxe du Soleil et par suite celle de la distance du Soleil à la Terre. Ces mesures furent exécutées par MM. Cornu, Angot, Mercadier, Baille et Gariel, à l'aide de quatre *machines micrométriques* pourvues de moteurs électro-magnétiques.

Les résultats qui se déduisent de l'ensemble des observations n'ont pas encore été publiés; les calculs sont longs et d'une nature particulièrement délicate. La France n'est pas d'ailleurs, sous ce rapport, en retard sur les autres nations; l'astronome

---

([1]) Non compris les épreuves de M. Janssen, qui n'ont pas encore été examinées.

royal d'Angleterre, M. Airy, n'a encore publié que le résultat des observations directes du passage; la discussion des photographies n'est pas terminée.

On peut maintenant se demander si tant d'efforts auront servi à nous procurer une valeur de la parallaxe solaire plus exacte que celles qu'on avait déjà obtenues par d'autres méthodes. Tout ce qu'on sait jusqu'à présent, c'est que le chiffre de la parallaxe que M. Airy a déduit des observations directes des astronomes anglais (8″,76) est un peu plus petit que celui que M. Newcomb avait trouvé en prenant la moyenne des meilleures déterminations connues (8″,85). M. Le Verrier, qui voyait avec déplaisir les sacrifices énormes faits pour ces expéditions, ne se lassait pas de répéter « qu'on allait courir les mers pour faire un peu mieux peut-être qu'il y a cent ans, mais rien de plus quant aux méthodes, et cela en négligeant ce qu'on avait chez soi ». Un jour, il s'échappe à dire : « Je démontrerai que ces observations sont sans valeur. On sera obligé d'avouer qu'on n'a pas obtenu de résultats (¹). »

L'unanimité avec laquelle les astronomes des autres pays se sont prononcés en faveur de ces expéditions proteste contre cette appréciation pes-

(¹) *Procès-verbaux des séances de la Commission du passage de Vénus*, p. 201. Les procès-verbaux, qui remplissent un volume in-4° de près de 500 pages, forment la première partie du *Recueil de documents relatifs au passage de Vénus* que publie l'Académie des Sciences.

simiste. En admettant même que la discussion du passage de 1874 ne donne pas encore la valeur définitive de la parallaxe du Soleil, on aura du moins recueilli des matériaux d'observation qui ne peuvent être obtenus que très-rarement, et qui dans l'avenir pourront acquérir une importance imprévue. D'ailleurs, comme l'a si bien dit M. Dumas, il ne faut pas oublier que, si le passage de Vénus sur le Soleil ne revient que de siècle en siècle, il se répète deux fois à chaque période, à huit années de distance, « comme si, pour chaque génération qui doit en être témoin, il y avait un premier passage d'essai destiné à éprouver toutes les méthodes que la science de l'époque peut fournir, et un second passage définitif, offrant l'occasion d'appliquer celles qu'on aura reconnues d'abord comme les plus correctes ». Les résultats des expéditions de 1874 serviront donc subsidiairement à préparer le choix des méthodes qu'on devra préférer pour les expéditions de 1882.

Il a été déjà reconnu, en tout cas, qu'on avait eu raison de préférer l'image focale directe à l'image agrandie par un oculaire, mais qu'il eût mieux valu supprimer les miroirs, qui nuisent à la netteté des images. L'examen des photographies a permis aussi d'affirmer l'existence d'une atmosphère autour de Vénus. En dehors de ces résultats positifs, il y a tout cet ensemble de recherches et d'expériences auxquelles a donné lieu la préparation des expéditions, ou pour nous servir d'un mot de

M. Cornu, ce labourage qui a remué profondément le champ des idées, en concentrant sur un même problème les efforts d'une foule de chercheurs. N'oublions pas non plus les observations de M. Bouquet de la Grye sur les marées à l'île Campbell, les collections de M. Filhol, le plan de Pékin levé par M. Lapied, etc.

C'est cette utilité indirecte de ces grandes entreprises scientifiques qu'on n'apprécie pas assez : elle fait qu'en définitive les dépenses sont toujours productives. Ajoutons que les instruments dont on a fait l'acquisition pourront être utilisés de diverses manières. Le Bureau des Longitudes a fait installer quelques-unes des lunettes devenues disponibles dans le parc de Montsouris, où les officiers de la marine viennent s'initier aux observations astronomiques. M. Janssen continue de tirer parti de sa lunette photographique à l'observatoire de Meudon; deux équatoriaux sont destinés aux nouveaux observatoires de Lyon et de Bordeaux. Enfin MM. André et Angot ont employé l'une de ces lunettes à l'observation du passage de Mercure, à Ogden (Utah), le 6 mai dernier.

Photographie des étoiles.

Il restait à faire servir la Photographie à l'étude des groupes stellaires, c'est-à-dire à la détermination rapide et précise des positions relatives

d'étoiles massées dans un espace restreint. C'est M. Rutherfurd qui a le premier résolu le problème, et depuis plusieurs années il poursuit ses travaux dans cette direction avec un remarquable succès [1]. L'observatoire de M. Rutherfurd est situé à l'intérieur de la ville de New-York, dans un quartier tranquille et qui n'est pas trop éclairé la nuit. La lunette photographique a 13^{po} d'ouverture.

Lorsqu'il s'agit de photographier des étoiles, la durée de l'exposition doit nécessairement suppléer à la faiblesse de la lumière. La durée de pose varie avec les circonstances atmosphériques ; mais M. Rutherfurd a trouvé que quatre minutes suffisaient généralement pour les étoiles de 10e grandeur. Pendant ce temps, le mouvement d'horlogerie fait marcher la lunette de manière que les étoiles qui sont dans le champ de l'appareil y paraissent immobiles ; dès lors les images qu'elles donnent sont de simples points. Cependant, comme les impuretés du collodion pourraient produire, lors du développement du négatif, des points noirs que l'on prendrait pour des étoiles, on fait toujours une seconde épreuve après avoir déplacé la plaque de 1^{mm} environ ; chaque étoile se trouve ainsi représentée par deux points noirs espacés d'une quantité toujours la même. L'épreuve ainsi obtenue fournit

---

[1] *L'Astronomie pratique et les Observatoires en Europe et en Amérique. — III. Etats-Unis d'Amérique*, par MM. C. André et A. Angot. Paris, 1877.

donc une représentation fidèle des positions et des distances relatives des étoiles qui étaient dans le champ de la lunette.

Mais il faut encore pouvoir évaluer ces distances en mesures angulaires, il faut pouvoir les exprimer en secondes d'arc. Pour faciliter cette évaluation, on arrête le mouvement d'horlogerie, et on laisse les étoiles traverser le champ ; les plus lumineuses, celles qui ne descendent pas au-dessous de la 4e ou de la 5e grandeur, laissent alors sur la plaque sensible une trace continue, et la longueur du sillon noir tracé pendant une minute fait connaître la valeur angulaire d'un millimètre mesuré sur la plaque. On peut ainsi faire, en une seule nuit, une dizaine d'épreuves du même groupe. Les distances des étoiles sont ensuite relevées sur chaque épreuve à l'aide d'un appareil composé de deux microscopes portés par un chariot ; on les mesure à $\frac{1}{100}$ de millimètre près.

M. Rutherfurd a obtenu par ce procédé des cartes très-exactes des Pléiades, du groupe de Præsepe, de celui de Persée, des étoiles voisines de la 61e du Cygne, dont Bessel avait signalé le mouvement propre. Plus récemment, M. Gould, directeur de l'observatoire de Cordoba, dans la République argentine, a également obtenu de remarquables succès dans cette voie. Au mois de novembre dernier, il possédait déjà des épreuves propres aux mesures micrométriques de 84 objets célestes, dont les trois quarts sont des amas stel-

laires. Le cliché qui représente l'amas stellaire de η du Navire montre 180 étoiles dont beaucoup sont de 9e grandeur. M. Gould a aussi obtenu de belles images de la Lune, des planètes Jupiter, Mars et Saturne, etc.

Le professeur Peirce, dont l'autorité en ces matières est considérable, parle avec enthousiasme du progrès réalisé par l'application de la Photographie aux recherches d'Astronomie sidérale. « Pour des recherches originales sur la position relative d'étoiles voisines, dit-il, les photographies peuvent être en toute sécurité substituées aux étoiles elle-mêmes, vues au travers des plus puissantes lunettes. Les photographies une fois prises constituent des faits indiscutables, à l'abri de l'influence des erreurs personnelles d'observation, et conservent pour les âges futurs la position actuelle des étoiles ainsi relevées. »

Achromatisme chimique.

Il faut pourtant parler maintenant de certaines difficultés que l'on rencontre dans l'application de la Photographie aux recherches astronomiques, et qui n'ont pas été surmontées sans peine. J'ai déjà rapporté comment M. Janssen est parvenu à éviter les effets de l'irradiation dans le cas où il s'agit d'une lumière très-forte, comme celle du Soleil.

Un autre inconvénient consiste dans le retrait du collodion après les lavages et la dessiccation.

M. Paschen et M. Rutherfurd, qui avaient étudié ce sujet, étaient arrivés à des résultats très-différents ; tandis que M. Paschen avait constaté un retrait qui allait parfois à $\frac{1}{1500}$, M. Rutherfurd n'avait trouvé que $\frac{1}{28000}$ au maximum. Les résultats plus récents de M. Vogel se rapprochent de ceux de M. Rutherfurd. M. Vogel a employé un procédé qui avait été recommandé par M. Faye, et qui consiste à photographier sur une couche de collodion un réseau de traits tracés au diamant sur une plaque de verre; on compare ensuite à la loupe le réseau du collodion à celui du verre, et l'on mesure la quantité dont le premier s'est contracté. Il paraît que l'emploi de plaques préalablement albuminées fait disparaître cette cause d'erreur. Cependant l'humidité a toujours une grande influence sur le collodion; c'est pour cette raison que la Commission du passage de Vénus a donné la préférence aux plaques métalliques de Daguerre.

Une autre difficulté naît de la différence qui existe entre la rétine et une surface photographique au point de vue de l'achromatisme nécessaire à la netteté des images. On sait que l'objectif, ou ce qu'on pourrait appeler l'œil de la lunette, doit être *achromatique*, en d'autres termes, qu'il doit montrer les objets sans ces bandes colorées qui les enveloppent lorsqu'on les regarde au travers d'un prisme ou d'une lentille simple. On obtient ce résultat par l'association d'une lentille de verre ordinaire (*crown*) et d'une lentille de cristal (*flint*),

taillées de façon à réunir, après la réfraction, en un même foyer les principaux rayons colorés. Mais les objectifs achromatiques ordinaires ne conviennent pas à la Photographie, car les rayons qui sont les plus importants pour la vision ne sont pas ceux qui produisent le plus d'effet chimique, et le « foyer chimique » ne coïncide pas avec le « foyer optique ». Il faut donc employer pour la Photographie des objectifs achromatisés d'une manière spéciale.

Il est vrai que l'on peut tourner la difficulté en substituant à la lunette un télescope à réflexion, car le télescope possède cet avantage que tous les rayons concourent exactement au même foyer, de sorte que l'image est rigoureusement achromatique. Quelques astronomes, comme M. Warren de la Rue, ont en effet employé de préférence des télescopes pour la Photographie ; par malheur, les miroirs sont trop sensibles aux changements de température, et il en résulte des déformations qui troublent l'image ; aussi préfère-t-on aujourd'hui se servir de réfracteurs convenablement achromatisés.

L'achromatisme photographique peut s'obtenir en premier lieu, comme l'achromatisme ordinaire, par la courbure que l'on donne aux surfaces des lentilles ; les constructeurs y arrivent soit par tâtonnement, soit par des méthodes plus directes. C'est le moyen qui est le plus souvent employé, et c'est d'après ce principe qu'a été taillé l'objectif photo-

graphique de l'observatoire de Cordoba; mais il faut alors renoncer à se servir de la lunette pour la plupart des observations ordinaires. M. Rutherfurd, qui désirait conserver son bel objectif, achromatique pour l'œil, a réussi à l'approprier à la photographie par l'adjonction temporaire d'une troisième lentille qui l'oblige en même temps à raccourcir un peu le tube de la lunette. Ce procédé, qui fait de la lunette un instrument à deux fins, a été adopté aussi par M. Langley, à l'observatoire d'Allegheny, où un réfracteur de 13^{po} est employé à l'étude de la surface du Soleil. M. Langley fait tailler une lentille supplémentaire qui lui permettra de photographier les taches, qu'il s'est jusqu'à présent contenté de dessiner.

Un de nos physiciens les plus habiles, M. A. Cornu, est parvenu, en 1873, à une solution beaucoup plus simple, qui a été immédiatement adoptée par la Commission du passage de Vénus pour la construction des lunettes photographiques que devaient emporter les expéditions françaises. Ce qui fait l'originalité de sa méthode, c'est qu'elle n'exige aucun instrument spécial : « Toute lunette peut être immédiatement adaptée aux observations photographiques, à l'aide d'une disposition mécanique qui n'altère en rien les qualités optiques de l'instrument : il suffit en effet de séparer les deux lentilles qui composent l'objectif d'une quantité dépendant de la nature des verres, mais dépassant rarement $1\frac{1}{2}$ pour 100 de la distance focale. Cette

opération raccourcit cette distance d'environ 6 ou 8 pour 100. La théorie et l'expérience prouvent que l'achromatisme primitif des rayons visibles est transformé en achromatisme des rayons chimiques. »

Cette méthode a été appliquée par M. Cornu avec un plein succès à une lunette que possède l'Observatoire de Paris. C'est le grand équatorial de la tour de l'Est, dont l'objectif a $0^m,38$ d'ouverture et près de 9^m de distance focale. L'instrument, commandé par Arago, n'avait jamais fonctionné, par suite de l'altération superficielle de l'un des verres. L'objectif fut remis en bon état, il y a quelques années, quand M. Cornu en fit usage pour une détermination nouvelle de la vitesse de la lumière, et c'est à la suite de ces expériences qu'il entreprit d'adapter l'instrument aux travaux de Photographie astronomique. Un dispositif très-simple permet désormais d'écarter les verres et de faire fonctionner l'instrument aussi bien pour les observations directes que pour la Photographie ; ajoutons que, pour l'observation directe des astres d'un faible éclat, on peut sans inconvénient conserver l'ajustement photographique.

Les images de la Lune et du Soleil qu'on obtient avec cet appareil mesurent 8^c de diamètre, et M. Cornu s'abstient de les amplifier, afin de leur conserver toute leur précision primitive. Voici comment la difficulté qui naît du mouvement propre très-rapide de la Lune a été surmontée :

on profite de la transparence du collodion pour observer directement un point de la surface et le maintenir sur un repère en rectifiant sans cesse la marche de l'équatorial.

Il est vrai que ce n'est pas tout de corriger l'achromatisme des objectifs : il faut aussi remédier à la déformation des images qu'entraîne la courbure donnée aux surfaces des lentilles, et qui se fait sentir surtout vers les bords. Le problème optique que soulève la construction d'une lunette photographique parfaite est donc fort complexe ; mais il n'est point insoluble, et ne tardera pas sans doute à être résolu.

II.

PHOTOGRAPHIE TERRESTRE.

Paysages. — Monuments.

Si du ciel nous descendons sur la terre, il y a lieu de remarquer tout d'abord que la Photographie est appelée à rendre d'incontestables services à l'enseignement de la Géographie et des sciences qui s'y rattachent, en mettant entre les mains de tous des reproductions fidèles de sites caractéristiques, de types des diverses races, et de toute sorte d'édifices et de monuments. Pour mesurer le pas qui, grâce à la Photographie, a été fait dans cette direction, il suffit de rapprocher des belles gravures qui décorent aujourd'hui tant de relations de voyages les lithographies, exécutées d'après de simples croquis, que l'on rencontre encore dans les ouvrages du même genre publiés il y a trente ou quarante ans.

C'est ici que le réalisme est à sa place, car le point de vue de la science est essentiellement différent de celui de l'art. « Sans doute, comme l'a très-bien dit M. Charles Sainte-Claire Deville, il arrivera aussi rarement que l'imitation absolument exacte ou photographique d'une contrée étendue constitue ce qu'on appelle un *paysage*, qu'il arrivera que la reproduction textuelle d'une scène de la vie ordinaire ou d'un épisode historique puisse, sans variantes, se transporter sur le théâtre ou se raconter dans un poëme. » Mais, pour nous instruire, un calque de la nature vaut peut-être mieux, et il est en tout cas plus facile à obtenir, ce qui n'empêche pas que, parmi les vues photographiques rapportées par des voyageurs, il n'y en ait d'une très-réelle valeur esthétique.

On a pu s'en convaincre à l'Exposition universelle de 1867, où figuraient d'admirables vues des contrées les plus lointaines. Il y avait là les grandes vues des Indes, de MM. Bourne et Shepperd, du colonel Briggs, de M. Griggs ; celles que M. Champion avait rapportées de Chine ; les vues de Cochinchine exécutées par les soins du gouvernement français ; des vues d'Égypte, envoyées par M. Cammas et M. Désiré ; une série de vues rapportées d'Algérie par le capitaine Piboul et le baron Champlouis, un long panorama de Constantinople exposé par les frères Abdullah, etc. A Vienne, en 1873, on a pu admirer les photographies rapportées de l'extrême Orient par W. Burger, du Japon

par le baron Stillfried, de la Nouvelle-Zemble par le comte Wilczek, les vues d'Égypte envoyées par MM. Schœfft et P. Sebah, etc. A l'Exposition actuelle figurent encore les paysages japonais du baron Stillfried, des vues de Suisse et d'Italie de M. England des vues prises en Arménie par M. Yermakoff, etc. Tout le monde connaît les admirables paysages de MM. Braun, de Dornach, de MM. Bisson frères, etc. La collection de vues photographiques de MM. J. Lévy et C[ie] embrasse aujourd'hui toutes les contrées du globe.

Insister sur les avantages que l'Archéologie retire de la reproduction photographique des monuments est superflu. Qu'on songe seulement au temps qu'il faudrait à un dessinateur, même habile, pour reproduire tant bien que mal les hiéroglyphes qui couvrent tel monument de Memphis ou de Karnak! Les planches qui accompagnent des ouvrages comme la célèbre *Exploration de l'Asie-Mineure* de M. George Perrot, la *Mission de Phénicie* de M. Renan, ou *Milet*, par MM. Rayet et Thomas, sont là pour démontrer l'importance de cette application. Et peut-être ces planches contiennent-elles des découvertes à l'état latent! M. Louis Figuier (1) rapporte à ce sujet des faits très-curieux. M. le baron Gros, ministre plénipotentiaire de France en Grèce, qui se délassait de ses fonctions diplomatiques par des travaux de Photographie, avait pris

(1) *Les Merveilles de la Science*, t. III.

un jour une vue de l'Acropole d'Athènes. De retour à Paris, il eut la fantaisie d'examiner à la loupe les détails de cette épreuve, et à sa grande surprise il découvrit, sur une pierre du premier plan, l'image gravée en creux d'un lion dévorant un serpent. Le dessin de cette figure datait évidemment de l'époque égyptienne. La Photographie avait donc réparé un défaut d'attention, et l'épreuve gardait fidèlement à son propriétaire une découverte que la lumière avait faite pour lui.

Chose plus étonnante, la Photographie peut dévoiler l'invisible et ressusciter des caractères complétement effacés. C'est ce que l'expérience a montré quand M. Camille Silvy a inauguré en 1860, la reproduction photographique des manuscrits anciens par un admirable *fac-simile* du manuscrit Sforza, appartenant à M. le marquis d'Azeglio. Il s'est trouvé que la copie était plus lisible que l'original, et que certains passages qu'on ne pouvait déchiffrer sur le parchemin n'offraient plus de difficulté lorsqu'on interrogeait le *fac-simile*. A la dernière page, on découvrit même une note, écrite en allemand au-dessous de la signature, qui était mise au jour par la Photographie, et dont on n'apercevait aucune trace sur le manuscrit. Cette note avait disparu parce que l'encre ordinaire (à base de peroxyde de fer) s'altère avec le temps et prend une teinte jaunâtre qui se confond avec celle du parchemin; mais elle ternit la surface et en diminue le pouvoir photo-

génique, de sorte que les traits depuis longtemps effacés reparaissent en noir sur la copie exécutée par la lumière. Quelques années plus tard, M. Silvy a encore revivifié par ce moyen une note qui avait été écrite à la main au bas d'une gravure représentant le portrait du prince-cardinal Emmanuel de la Tour d'Auvergne et qui indiquait le lieu et la date de la mort du prélat.

La Photographie devient donc un instrument de restauration des vieux manuscrits ; on pourra s'en servir notamment pour faire revivre les caractères primitifs des Palimpsestes, qu'on essayait autrefois de raviver à l'aide d'une dissolution de tannin, qui endommage les manuscrits (1). Mais, en dehors de cette application spéciale, il est évident qu'elle fournit le meilleur moyen de multiplier les copies de manuscrits rares et de rendre ces derniers plus accessibles aux érudits. C'est ainsi qu'en 1848 M. de Sevastianof a réussi, en s'enfermant pour un long temps dans un couvent du mont Athos, à prendre un *fac-simile* photographique d'un manuscrit de la *Géographie* de Ptolémée, composé de 112 feuillets. M. Silvy s'est fait de la reproduction des vieux manuscrits une féconde spécialité.

---

(1) M. Gobert a recommandé ce moyen pour la recherche des falsifications d'écritures tracées à l'encre ordinaire. On sait que la Photographie fait aussi paraître en noir les traits à peine visibles dessinés sur le papier avec une dissolution de sulfate de quinine.

Un Anglais a fait remarquer aussi que par la réduction photographique des in-folio on pourrait créer des bibliothèques microscopiques qui représenteraient des centaines de volumes et tiendraient dans un tiroir; mais l'utilité pratique de ces livres en miniature ne nous paraît pas démontrée.

Les travaux entrepris de 1857 à 1867 par M. Aimé Civiale ont de même démontré l'utilité de la Photographie pour l'étude du relief de la surface terrestre. M. Charles Sainte-Claire Deville, dans un Rapport sur ce beau travail, a développé à ce sujet des considérations qui méritent d'être citées :

« Quelque soin que mette un dessinateur, dit M. Deville, à retracer fidèlement les lignes d'une montagne ou d'une contrée, à n'en rien exagérer, il ne sera jamais sûr de s'être affranchi de certaines illusions d'optique ou de perspective. Bien plus, les géologues, dans le plus grand nombre des coupes, faussent sans nécessité les rapports entre les bases et les hauteurs, et il ne faudrait pas remonter bien loin dans la Science pour retrouver des arguments qui ne semblaient avoir quelque poids que parce qu'ils s'appliquaient à des profils ou à des reliefs dans lesquels non-seulement les pentes étaient grossièrement altérées, mais qui, par suite du même défaut de construction, ne présentaient que des rapports inexacts entre les pleins d'une contrée, entre les espaces effectivement occupés par les massifs montagneux et les espaces laissés à découvert par les cols, les vallées,

les échancrures. » C'est à ce besoin impérieux de précision que répondent les vues photographiques.

Après deux campagnes d'essai dans les Pyrénées, pendant les étés de 1857 et de 1858, M. Civiale commença en 1859 sa description photographique de la chaîne des Alpes, qui ne fut terminée qu'en 1867. Bien qu'il fût parvenu à substituer aux glaces collodionnées le papier ciré, son attirail de photographe représentait encore un poids de 250^{kg}, qu'il fallait transporter à dos de mulet ou à dos d'homme sur les cimes choisies pour les stations.

Pour les vues de détail, M. Civiale recherchait les points les mieux placés pour faire ressortir la structure des roches, la disposition régulière ou anormale des couches, les brisements ou plissements qu'elles présentent, les formes générales et les pentes des glaciers, les allures de leurs moraines, les accumulations de roches moutonnées, polies et striées, en un mot toutes les circonstances caractéristiques qui intéressent le géologue ; ces renseignements sont toujours complétés par des échantillons de roches recueillis sur place. Les stations de ce genre sont d'ordinaire d'un choix plus facile que celles qui doivent fournir les grandes vues d'ensemble. Pour que les panoramas représentent bien l'ensemble des divers massifs et permettent de reconnaître aisément la position relative des sommets, la direction des vallées qui les séparent, etc., il faut que le choix de la station satisfasse à

certaines conditions d'altitude, et que l'on tienne compte aussi de l'éclairage qui change sans cesse avec la position du Soleil. Les pics ou les cols d'une hauteur absolue comprise entre 2200 et 3200^{m} offrent généralement dans les Alpes les meilleures stations pour les vues panoramiques; au-dessus de 3500^{m}, les vallées cessent de se dessiner nettement; au-dessous de 2000^{m}, on n'aperçoit plus un assez grand nombre de sommets. M. Civiale a encore reconnu, par expérience, qu'en commençant vers 7^{h} du matin il faut se tourner d'abord vers le nord, puis aller successivement du nord à l'ouest, de l'ouest au sud, etc.; en procédant ainsi, on se trouve vers 11^{h} ou midi en face de l'est, qui est alors éclairé de la manière la moins défavorable. Les panoramas de M. Civiale se composent toujours de quatorze épreuves, raccordées par des bandes de $0^{m},01$ de largeur.

C'est surtout la photographie de paysage qui profitera des perfectionnements apportés depuis peu à la préparation des plaques sèches, qui rendent inutiles la tente, le bain d'argent, etc., simplifiant ainsi dans une grande mesure le bagage du voyageur photographe (¹). On se rappelle que Beurmann, ayant été privé de sa tente par un acci-

---

(¹) *Voir* à ce sujet l'excellent résumé de M. A. Davanne (*Progrès de la Photographie*, p. 26 à 76) et deux publications récentes : *Photographie par émulsion sèche au bromure d'argent pur*, par M. A. Chardon, et *Procédé au gélatino-bromure*, par M. H. Odagir (Paris, 1877, Gauthier-Villars).

dent, se vit dans l'impossibilité de faire une seule photographie le long de la route qui mène de Souakin à Khartoum et qui traverse des contrées encore peu connues. Les mécomptes de cette nature deviendront plus rares quand l'usage des préparations sèches sera tout à fait entré dans la pratique courante.

Le dernier explorateur de l'Afrique, M. Stanley, n'avait pas oublié de se munir d'un appareil photographique dont il s'est beaucoup servi.

La Géodésie et la Topographie militaires n'attendent pas de moindres services de l'art du photographe. En effet, l'image photographique, étant produite par des lentilles, est soumise dans sa formation aux règles de la Géométrie : elle représente une *perspective centrale*, beaucoup plus exacte que si elle avait été dressée par un dessinateur, même à l'aide d'un instrument qui mesure les angles. Il s'ensuit, comme l'ont fait remarquer en 1839 Arago et Gay-Lussac, dans leurs Rapports aux deux Chambres, que la photographie de paysage peut servir à construire des cartes topographiques d'une exactitude absolue. Deux photographies prises de deux stations dont on connaît la distance suffisent pour dresser une carte du terrain, avec une économie de temps considérable ; on en déduit non-seulement la situation relative des objets, mais encore leur élévation. Il est vrai que, pour cet usage, la chambre noire doit être construite comme un appareil de précision, et qu'il faut

opérer dans des conditions qu'on ne rencontre pas tous les jours.

C'est le colonel Laussedat, professeur de Géodésie à l'École Polytechnique, qui a recommandé cette méthode, il y a près de vingt ans, et elle a été appliquée avec succès aux travaux de topographie militaire. En 1864, le capitaine Javary réussit à lever par ce moyen un plan de la ville et des environs de Grenoble; la carte qui fut présentée à l'Académie des Sciences embrassait une étendue de terrain de 20^{kmq}, et tous les détails avaient été déduits de vingt-neuf vues, prises de dix-huit stations. A l'Exposition universelle de 1867 figurait un plan des localités de Faverges et Doussard (Haute-Savoie) dressé par le même officier.

Très-simple dans son principe, cette méthode entraîne pourtant des constructions géométriques fort délicates et qui demandent beaucoup de temps. Le problème se trouve résolu d'une manière plus complète par l'instrument qu'un ancien médecin militaire, M. Auguste Chevallier, a imaginé en 1858, et qui est connu sous le nom de *planchette photographique*.

Déjà, vers 1845, M. Martens avait publié la description d'un appareil panoramique qui permettait de reproduire un demi-tour d'horizon sur un cylindre vertical; l'image était reçue à travers une fente verticale très-étroite. Cet appareil fut perfectionné par M. Garella, qui réussit à le modifier de façon à recevoir l'image sur une surface plane.

Mais ces premières solutions, encore très-imparfaites, n'ont plus qu'un intérêt historique depuis l'invention de la planchette photographique.

L'instrument de M. Chevallier, tel qu'il est employé aujourd'hui, se compose d'une chambre obscure cylindrique, qui peut tourner autour d'un axe vertical de manière à faire lentement le tour de l'horizon ; un prisme à réflexion totale renvoie l'image sur la plaque sensible, de forme circulaire, qui est fixée dans une position horizontale au-dessous du centre de rotation. On obtient ainsi une sorte de vue panoramique où les divers objets se trouvent déjà marqués dans leurs vraies directions, comme sur la planchette ordinaire.

On comprend que ce procédé mécanique n'a pas seulement sur la méthode ancienne l'avantage d'une plus grande rapidité, mais qu'il rend presque impossibles les erreurs de visée qui sont toujours à craindre lorsqu'on doit relever un à un tous les objets saillants. Enfin les opérations graphiques auxquelles il faut recourir pour dresser le plan d'un paysage à l'aide de deux panoramas photographiques sont infiniment plus simples que celles qu'exige l'emploi de la chambre noire ordinaire. Rien n'empêche d'ailleurs de comprendre parmi les objets à relever le Soleil lui-même et d'*orienter* ainsi le tour d'horizon. Il est donc permis de dire que la planchette photographique résout de la manière la plus heureuse le problème de la « géodésie expéditive », et il serait à désirer que les stations

qu'il s'agit de créer dans l'intérieur de l'Afrique en vue de l'exploration de ce continent fussent munies d'instruments de ce genre ; on arriverait ainsi à dresser des cartes exactes d'une foule de contrées inconnues avec moins de peine que lorsque l'on devait se contenter, comme M. d'Abbadie en Éthiopie, d'un simple théodolite et d'un carnet de poche.

C'est en particulier au point de vue militaire que cette application de la Photographie a beaucoup d'avenir. En réservant à la planchette photographique le levé exact du terrain, et surtout le levé des places fortes, des appareils plus simples pourront encore fournir aux troupes en campagne les vues pittoresques destinées à faciliter la lecture des cartes, qui nous laissent toujours en face d'une abstraction embarrassante, puisque les objets y sont remplacés par des signes conventionnels.

Puis la Photographie est employée avec un succès croissant à copier, à réduire, à multiplier les cartes et les plans. Au Dépôt de la guerre, elle a depuis longtemps détrôné le pantographe, qui servait à réduire les minutes de l'échelle des levés à l'échelle de la carte à graver, et elle a épargné plus d'une fois un long travail de copie. « C'est ainsi, dit M. Jouart dans une intéressante Notice publiée en 1866 (1), que le capitaine de Milly a pu prendre

---

(1) *Application de la Photographie aux levés militaires.* Paris, 1866, Dumaine.

à Turin, et reporter en quelques semaines, à l'échelle de la carte de France, le comté de Nice et la Savoie, levés au $\frac{1}{10000}$ par les ingénieurs piémontais. C'est ainsi encore que tout récemment ce même officier, ayant eu entre les mains pour deux heures seulement un des rares exemplaires de la carte du Mexique du général Scott, a pu fournir presque instantanément à l'état-major français 150 épreuves de ce précieux document. » Ces applications prennent plus d'extension à mesure que se perfectionnent les procédés d'*impression* photographique (photolithographie, zincographie, etc.). L'Exposition universelle de 1878 en fournit plus d'un exemple.

Des services photographiques sont organisés dans l'armée anglaise depuis la guerre de Crimée, dans l'armée française depuis la campagne d'Italie; aux États-Unis, en Autriche, en Russie, l'utilité des applications militaires de la Photographie a été également appréciée de bonne heure. Les armes spéciales y trouvent un moyen commode de reproduire les types d'armement, d'expliquer tous les détails du service, de constater les effets du tir, etc. A Woolwich, on est même parvenu à photographier les trajectoires des boulets. Il faut enfin mentionner ici les dépêches réduites à des dimensions microscopiques et confiées à des pigeons voyageurs, qui ont rendu tant de services pendant le siége de Paris.

La marine, les administrations de l'agriculture,

des travaux publics, etc., ne profiteront pas moins des facilités nouvelles que procure la Photographie pour remplacer par la saisissante réalité d'une image l'à-peu-près si abstrait et si vague des descriptions. A l'Exposition de 1867 figuraient un album formé par M. Jubert à l'école de Grignon, une collection d'épreuves, représentant les diverses essences d'arbres, que M. de Gayffier avait réunies pour l'administration des eaux et forêts. A l'Exposition qui vient de s'ouvrir, nous avons particulièrement remarqué les magnifiques albums de l'École des Ponts et Chaussées, exposés par le Ministère des travaux publics, où sont figurés les ports, les phares, les ponts, les viaducs, et en général tous les ouvrages d'art de quelque importance qui ont été exécutés en France et en Algérie. Les exemples de ces applications sont trop nombreux pour qu'il soit besoin d'insister.

Enregistreurs météorologiques.

La Météorologie pratique a également trouvé dans la Photographie un auxiliaire qui débarrasse l'observateur de la partie la plus fastidieuse de son travail; docilement et fidèlement, elle enregistre les oscillations du baromètre et du thermomètre, les variations du magnétisme terrestre et celles de l'état électrique de l'air, etc.

Cette substitution d'automates à la place des observateurs est d'une grande importance pour

l'avenir de la Science. « Les appareils enregistreurs, disions-nous, il y à dix ans, sont en cela supérieurs à l'homme, que rien ne peut lasser leur zèle, que rien ne les rebute, que la monotonie est leur élément, et la régularité leur condition d'existence. Voilà un observateur qu'il suffit de monter en tournant une clef : il reste désormais à son poste l'œil clair, la main ferme, jour et nuit, sans dormir, sans se plaindre de la chaleur ou du froid, sans s'abandonner à des rêveries, et, ce qui est encore plus important, sans qu'il songe jamais à fabriquer des observations imaginaires qui le dispenseront de veiller (1). »

Un autre avantage considérable des appareils enregistreurs, c'est qu'ils nous présentent tous les résultats sous une forme qui parle aux yeux ; ce ne sont plus des tableaux numériques composés de chiffres isolés qu'il a fallu péniblement réunir en les relevant un à un, à des heures fixes ; ce sont des courbes continues dont la signification est immédiatement claire, et qui permettent de saisir toutes les phases des phénomènes dont l'ensemble constitue le climat d'un lieu.

Cette représentation figurative des éléments météorologiques, cette sorte de sténographie du temps, nous dispense aussi de tous ces calculs fatigants que nécessite la conversion des données numé-

---

(1) *Les Appareils météorographiques* (*Revue des Deux-Mondes* du 1er juillet 1867).

riques hétérogènes en mesures métriques. La déplorable confusion qui règne dans les mesures employées par les météorologistes des divers pays n'est malheureusement pas près de cesser; les uns donnent toujours la hauteur du baromètre en pouces ou en lignes, tandis que les autres la donnent en millimètres; la température est donnée en degrés centésimaux et degrés Réaumur, et degrés Farenheit; la force du vent en livres par pied carré et en kilogrammes par mètre carré, et ainsi de suite. Lorsqu'on veut comparer entre elles les données fournies par des observateurs de nationalité différente, il faut le plus souvent commencer par les rendre comparables au moyen d'une conversion qui est à la fois une perte de temps et une source d'erreurs.

Or la confrontation des chiffres, c'est aujourd'hui l'alpha et l'oméga de la Météorologie pratique. L'introduction des appareils enregistreurs fournirait l'occasion d'établir pour tous les instruments une échelle uniforme, et de faire ainsi disparaître un des obstacles qui arrêtent les progrès de la Météorologie. Et alors même que les courbes ne se rapportent pas à la même échelle, elles sont toujours plus faciles à comparer que des chiffres; un coup d'œil suffit pour reconnaître les maxima et les minima respectifs, et pour juger des contrastes ou des analogies dans la marche des phénomènes.

Pour réaliser l'enregistrement des variations

météorologiques, on a imaginé les moyens les plus divers ; la Photographie en fournit un des plus commodes. S'agit-il par exemple d'enregistrer l'état du baromètre ou du thermomètre, un mouvement d'horlogerie fait défiler derrière l'instrument, éclairé par une lampe ou par un bec de gaz, une bande de papier sensibilisé, sur laquelle vient se peindre la hauteur variable du mercure ; l'appareil fait donc en quelque sorte le portrait du temps. Tous les soirs, on enlève la bande impressionnée, afin de fixer l'épreuve par les moyens ordinaires, et on la remplace par une bande fraîche.

C'est sir Francis Ronalds [1] qui a le premier appliqué ce principe à la construction d'instruments enregistreurs, *barographes, thermographes, magnétographes,* etc. Des appareils de ce genre fonctionnent à Kew, à Greenwich, à Lisbonne, à Paris, à Pavlovsk (Saint-Pétersbourg) et ailleurs.

Les dispositions varient selon les phénomènes dont il s'agit d'obtenir des tracés. Les parties communes à tous ces instruments sont l'appareil d'éclairage avec son système de lentilles, et l'appareil photographique, qui consiste en une feuille de papier sensibilisé, tendue sur un châssis qu'entraîne un chariot, ou bien enroulée sur un cylindre qui fait un tour en vingt-quatre heures. Le papier

---

(1) Le prix de 500 livres sterling, proposé par le gouvernement anglais pour une invention qui épargnerait aux observateurs un labeur pénible, a été attribué à MM. Ronalds et Brooke pour leurs enregistreurs photographiqnes.

sensibilisé reçoit la lumière par une fente étroite derrière laquelle il défile lentement; l'image photographique qui s'y peint se trouve ainsi convertie en une courbe continue.

La pression atmosphérique est enregistrée de cette façon à l'aide d'un baromètre à cuvette ordinaire, suspendu de manière que la silhouette du ménisque de mercure et les divisions de l'échelle tracées sur le tube soient projetées en même temps sur la feuille sensible. Pour enregistrer l'état du thermomètre, on fait passer la lumière non par l'espace vide qui reste au-dessus du mercure, mais par une petite bulle d'air qui a été introduite dans la mince colonne mercurielle, et qui sert d'index pour marquer les oscillations de la température [1].

L'addition d'un second thermomètre, dont le réservoir est entouré d'un linge constamment humecté, fait du thermographe un *psychrographe :* la comparaison des deux courbes thermométriques permet de juger de l'état de sécheresse ou d'humidité de l'air; elles s'écartent quand l'air est très-sec et se rapprochent lorsqu'il renferme beaucoup de vapeur d'eau. On peut aussi enregistrer l'humidité relative de l'air par le moyen d'un hygromètre à cheveu dont l'aiguille marche le long

---

(1) M. Salleron donne au thermomètre enregistreur la forme d'un tube en U dont les deux branches communiquent avec deux larges réservoirs remplis d'air : l'un de ces réservoirs est enterré dans le sol.

de la fente qui donne accès au rayon lumineux.

Pour enregistrer les fluctuations du magnétisme terrestre, on fait usage de barreaux aimantés mobiles, munis chacun d'un petit miroir qui, à l'état de repos, forme le prolongement d'un miroir fixe. Tant que le barreau est au repos, les faisceaux lumineux que les deux miroirs envoient à la fente dessinent sur le papier sensible un point noir qui, par le mouvement de translation du papier, deviendra une ligne droite ; mais la moindre oscillation du barreau écarte de cette ligne d'étiage le sillon noir du miroir mobile, qui accuse ainsi tous les mouvements du barreau aimanté.

Les variations de la déclinaison magnétique sont indiquées par un barreau horizontal, suspendu à un fil de soie; c'est une sorte de boussole, plus sensible seulement que la boussole marine. Les changements d'intensité de la force magnétique sont accusées par un bifilaire : c'est un barreau horizontal, suspendu à deux fils d'acier, dans une direction à peu près perpendiculaire au méridien magnétique; la force qui tend à l'amener dans le méridien est contre-balancée par une légère déviation des fils. Les oscillations de ces deux barreaux s'inscrivent sur deux tambours qui tournent autour d'un axe horizontal; celles du magnétomètre-balance, qui accuse les variations de l'inclinaison par les oscillations d'un barreau soutenu à la manière d'un fléau de balance, s'inscrivent sur un tambour vertical.

Un faisceau lumineux réfléchi par les deux feuilles d'or d'un électroscope sert de même à tracer sur le papier sensible deux courbes dont l'écartement accuse l'état électrique de l'atmosphère. C'est le système employé à Kew; à Montsouris, on fait usage d'un électromètre photographique construit par M. Salleron, qui est fondé sur un autre principe.

On comprend sans peine que des dispositions analogues permettent d'obtenir par la Photographie une représentation exacte de tous les phénomènes physiques ou physiologiques qui se manifestent par des mouvements visibles. M. Stein (¹) propose, par exemple, d'enregistrer de cette manière le niveau des marées, qui est marqué dans beaucoup de ports par un crayon fixé à la tige verticale d'un flotteur.

Citons encore, à ce propos, l'appareil ingénieux que M. Neumeyer, chef du bureau hydrographique de Berlin, a fait construire pour l'étude des courants sous-marins et la détermination de la température au fond de la mer. Une boîte cylindrique de cuivre, que l'on suspend à une ligne de sonde, renferme un thermomètre et une boussole, que des tubes de Geissler convenablement disposés permettent d'illuminer d'une lueur violette, due au passage d'une série d'étincelles électriques dans

---

(¹) *Das Licht im Dienste wissenschaftlicher Forchung*, von Dr Stein. Leipzig, 1877.

l'azote raréfié. Cette lueur suffit à marquer en moins de trois minutes, sur du papier sensible, l'image de la colonne de mercure et la position de l'aiguille aimantée. Une sorte de fanon ou de gouvernail fixé à la boîte sert à maintenir la ligne de foi de la boussole dans la direction du courant.

M. le Dr Forel a eu recours au même moyen pour étudier les causes qui font varier périodiquement la transparence des eaux du lac Léman. C'est un fait assez connu que les eaux des lacs sont plus transparentes en hiver qu'en été; mais l'on n'est pas d'accord sur l'explication qu'il faut donner de ce phénomène, et il s'agissait avant tout pour M. Forel d'obtenir sur la grandeur des variations de la transparence des données numériques d'une certaine précision.

L'une des méthodes dont il a fait usage consiste à déposer sur le fond du lac un appareil où se trouve enfermée, sous une glace, une feuille de papier photographique; on l'y laisse un ou deux jours, exposé aux rayons solaires à travers l'épaisseur de l'eau, et l'on examine ensuite l'effet qu'a produit la lumière ainsi tamisée. M. Forel noyait toujours l'appareil pendant la nuit, et le relevait également de nuit; une bouée en marquait la place dans l'intervalle. Une moitié de la feuille était protégée contre l'action de la lumière par un écran, afin de rendre plus sensibles par le contraste les traces de coloration que pouvait présenter la partie non protégée. L'épreuve, retirée de la boîte, est

fixée par l'hyposulfite de soude, et la vigueur de la coloration appréciée par comparaison avec une gamme de tons préparée à l'avance. On a constaté ainsi, par exemple, qu'au mois de février on obtenait encore, à la profondeur de 50^{m}, un effet de coloration égal à 20, tandis qu'au mois de juillet l'effet était nul à la même profondeur. La limite d'obscurité absolue devait être à 50^{m} en été, à 100^{m} en hiver. Une autre méthode, qui consiste à faire descendre dans l'eau un disque blanc attaché à une ligne de sonde, et à mesurer la profondeur où il disparaît à l'œil en descendant, puis celle où il redevient visible en remontant, avait donné à M. Forel des résultats tout à fait analogues.

Pendant l'hiver, les eaux du lac sont claires (en temps normal) ; en été, elles sont toujours troubles. Le passage du régime de l'été au régime de l'hiver a lieu brusquement : en quelques jours, presque d'un jour à l'autre, le lac s'éclaircit et devient limpide ; au printemps, la transition est beaucoup plus lente. Quant à la cause de ces variations, M. Forel croit l'avoir trouvée dans la présence des poussières organiques en suspension dans l'eau, et qui s'y distribuent d'une manière différente en hiver et en été.

Applications à la Physique et à la Physiologie.

L'étude du spectre solaire et des autres spectres lumineux a été considérablement avancée par l'in-

tervention de la Photographie, qui a permis notamment de reconnaître les raies noires ou lacunes de la région ultra-violette, dont les rayons ne produisent presque aucune impression sur la rétine de l'œil. M. Mascart et M. Cornu ont déterminé ainsi la situation d'un grand nombre de raies de cette région. Les photographies spectrales obtenues depuis par M. Rutherfurd et par M. Henry Draper, en Amérique, montrent aussi dans la région moyenne un grand nombre de raies nouvelles. Enfin M. Cornu, en observant méthodiquement l'impression photographique du spectre solaire ultra-violet, a constaté des variations remarquables qui dépendent de l'heure de la journée et des saisons.

La Photographie ne tardera pas du reste à prendre possession de toute l'étendue du spectre, y compris les régions obscures qui confinent aux rayons rouges, grâce à une découverte récente de M. Vogel. Ce physicien a constaté qu'il suffisait de mêler au collodion des matières colorantes qui absorbent les rayons rouges pour le rendre sensible à l'action de ces rayons, de sorte que la désignation spéciale de « rayons chimiques » appliquée aux rayons violets et ultra-violets n'a plus de sens aujourd'hui, toutes les couleurs du spectre pouvant faire impression sur une couche photographique convenablement préparée.

N'oublions pas de mentionner ici les tentatives faites par M. E. Becquerel pour reproduire par la Photographie les couleurs elles-mêmes du spectre

solaire, tentatives qui ont été couronnées de succès, à cela près qu'on n'a pas encore trouvé le moyen de fixer les teintes fugaces que l'action du spectre fait apparaître sur la plaque iodurée.

Beaucoup d'autres applications de la Photographie ont été réalisées depuis quelque temps dans les différentes branches de la Physique.

MM. Bunsen et Roscoe ont mesuré, à l'aide du papier sensible, l'intensité changeante des radiations du Soleil ([1]). Le Dr Stein, en Allemagne, a réussi à photographier le zigzag enflammé de l'éclair. On est parvenu également à fixer par ce moyen l'image fugitive des flammes de gaz qui vibrent sous l'influence d'un son, image que le miroir tournant transforme en un ruban de feu dentelé; mais il a fallu remplacer le gaz d'éclairage ordinaire par le cyanogène, dont la flamme pourpre possède un pouvoir photogénique considérable. Les oscillations rapides des cordes sonores sont photographiées, comme les oscillations lentes du thermomètre, sur une feuille de papier sensible, animée d'un mouvement de translation, qui reçoit le faisceau lumineux à travers un écran, percé d'un petit trou, que l'on attache à la corde avant de l'ébranler.

M. le Dr Ozanam avait réussi dès 1869 à photographier par un procédé analogue les battements du pouls, en projetant un faisceau de lumière sur

---

([1]) *Voir* notre étude sur les *Radiations chimiques du Soleil*. Paris, 1877, Gauthier-Villars.

le sommet d'une colonne de mercure que soulevait périodiquement la vague du sang. Le *sphygmographe* de M. Marey enregistre les pulsations amplifiées par un levier, dont le bras long est muni d'un style lorsqu'on veut obtenir un tracé sur papier enfumé, ou d'un écran percé d'un trou lorsqu'il s'agit de photographier le pouls.

C'est par des artifices du même genre qu'on obtient les courbes qui représentent aux yeux le rhythme de la respiration, les contractions musculaires, les variations de la température du sang (1), etc.

Ces nouvelles méthodes, fondées sur la représentation graphique des phénomènes, et dans lesquelles la Photographie peut souvent intervenir d'une manière utile, ont inauguré une ère nouvelle pour la Physiologie expérimentale, et l'importance qu'elles ont pour la pratique médicale saute aux yeux. En rendant accessibles à l'observation directe le jeu mystérieux des fonctions vitales dans l'organisme sain, aussi bien que les troubles de toute espèce que l'expérimentation y fait naître par une modification préméditée des conditions normales, elles éclairent d'un jour nouveau les symptômes des maladies.

Il suffit, pour s'en convaincre, de parcourir les volumes où sont consignés les résultats des recherches exécutées, sous la direction de M. Marey,

---

(1) Par le *kymographe*, le *myographe*, le *thermographe*, etc.

au laboratoire de Physiologie de l'École des Hautes Études, installé au Collége de France. En quelques années, le célèbre professeur, admirablement secondé par un groupe de jeunes savants, est parvenu à créer une étonnante quantité de matériaux qui contribueront à poser les bases d'une biologie rationnelle, en remplaçant les hypothèses par des faits.

La publication toute récente de l'ouvrage où M. Marey a exposé magistralement ses méthodes et les résultats qu'elles ont donnés nous dispense d'entrer à cet égard dans plus de détails ([1]).

Les applications de la Photographie aux recherches médicales sont d'ailleurs très-variées. Sans parler de la reproduction fidèle des préparations anatomiques, qui est facilitée par l'injection des veines et des artères qu'on remplit ainsi de sang artificiel rouge ou bleu, il est devenu possible de lancer le rayon investigateur dans les profondeurs du corps vivant. Ceux qui ont été dans le cas de consulter un médecin en renom pour une affection des yeux ou un mal de gorge savent que des instruments ingénieux (l'*ophthalmoscope*, le *laryngoscope*) permettent d'éclairer l'intérieur de l'œil ou l'arrière-bouche et de voir ce qui s'y passe. L'*otoscope* rend facile l'exploration de l'oreille;

([1]) *La Méthode graphique dans les Sciences expérimentales, et particulièrement en Physiologie et en Médecine,* par M. E.-J. Marey. Paris, 1878, Masson.

l'*endoscope* fait pénétrer le regard du médecin dans la vessie; tous ces instruments peuvent être complétés par une chambre noire qui fixe l'image des organes malades.

Photomicrographie.

Les avantages que présente l'emploi de la Photographie dans les recherches anatomiques sont surtout sensibles lorsqu'il s'agit de préparations qui s'altèrent rapidement. Cet auxiliaire n'est pas moins précieux quand l'observateur est aux prises avec l'infiniment petit. La Photomicrographie n'offre pas seulement cet inappréciable avantage de supprimer la fatigue de l'œil, qui rend si pénible la tâche du dessinateur chargé de reproduire des objets microscopiques : elle fournit encore le moyen d'évoquer, par la combinaison stéréoscopique de deux épreuves, l'impression du relief, que l'observation microscopique directe ne procure que difficilement. Enfin l'agrandissement ultérieur des photographies rend parfois nettement perceptibles des détails de structure trop délicats pour être distingués directement avec les plus forts grossissements; en d'autres termes, la plaque sensible *voit* des choses qui échappent à l'œil.

La reproduction d'objets microscopiques a été tentée avec succès par le Dr A. Donné, dès les premières années qui suivirent la publication de la découverte de Daguerre. En 1844, M. Donné exé-

cuta avec Léon Foucault un Atlas microscopique, par une transformation directe des daguerréotypes en planches gravées. Plus tard cette branche de la Photographie a fait de notables progrès, grâce aux efforts d'une foule de savants, parmi lesquels nous citerons MM. Nachet, Bertsch, Moitessier, Lackerbauer, Jules Girard, en France; Gerlach, Meyer, Benecke, Stein, Fritsch, en Allemagne; Maddox, Huxley et Wenham, en Angleterre, et surtout le Dr Woodward en Amérique, qui dispose pour ses travaux d'Anatomie et d'Histologie microscopique d'un magnifique laboratoire, installé au Ministère de la guerre, à Washington. M. Czermak, le célèbre inventeur du laryngoscope, qu'une mort prématurée a enlevé à la Science, avait également disposé pour les applications de la Photographie le premier étage du magnifique laboratoire de Physiologie qu'il avait fait construire à ses frais et qu'il a légué à l'Université de Leipzig; mais sa mort a interrompu les travaux qui avaient été commencés sous sa direction (1). Le laboratoire de Physiologie du Collége de France ne néglige pas non plus les ressources que la Photographie offre pour l'étude des objets de très-petite dimension.

---

(1) En 1861, M. Czermak avait déjà présenté à notre Académie des Sciences des photographies stéréoscopiques du larynx.

Applications diverses.

Le Dr Duchenne, de Boulogne, a employé ce moyen pour représenter les résultats de ses célèbres recherches sur les mécanismes musculaires de la physionomie humaine dans ses rapports avec les diverses passions ; il a reproduit dans une série de planches les effets qu'il obtenait en provoquant, soit par le courant électrique, soit par d'autres excitants, la contraction de chacun des petits muscles cachés sous la peau de la face, et il est parvenu ainsi à démêler les touches du clavier musculaire qui sont au service de chaque passion déterminée.

C'est la vue de ces planches qui a inspiré à M. Darwin ses propres recherches sur l'expression des émotions chez l'homme et chez les animaux. M. Darwin, comme l'on sait, ramène les jeux de physionomie, actuellement involontaires, à des mouvements qui, dans l'origine, étaient volontaires et motivés. L'ouvrage qui contient l'exposé de sa théorie de l'expression est orné de nombreuses photographies d'après nature, où les émotions que le visage peut trahir sont saisies sur le vif.

C'est ici le lieu de dire encore un mot de la « photographie de l'invisible », qui repose sur l'inégale action des différentes couleurs. La faiblesse de l'action des rayons jaunes fait que les cheveux blonds paraissent noirs sur l'épreuve, que les taches

de rousseur sont trop accusées, que de légères taches jaunes, invisibles à l'œil, sont révélées par la plaque sensible. « On photographiait il y a quelques années, dit M. Vogel, une dame dont les portraits étaient toujours bien venus. A la surprise de l'opérateur, le visage, dans le portrait, parut couvert de taches dont l'original ne présentait aucune trace. Le lendemain, elles apparurent très-nettement, et cette dame mourut de la petite vérole. La Photographie avait devancé la vue et reconnu avant celle-ci des taches d'un jaune très-faible (1). » Peut-être y a-t-il dans ce fait d'observation le germe de quelque application médicale.

Je n'insisterai pas ici sur les innombrables usages pratiques auxquels se prête encore la Photographie : l'instruction judiciaire y trouve le moyen d'établir une identité, de représenter au jury le théâtre d'un crime, d'expédier à un absent le *fac-simile* d'une fausse signature ; en photographiant les accidents de chemin de fer, les sinistres causés par des orages ou des incendies, on facilite l'enquête à laquelle se livreront les compagnies intéressées, etc. Tout cela nous entraînerait hors de notre sujet. Contentons-nous de mentionner encore une idée assez originale qui a une portée scientifique.

Un médecin allemand, le Dr Oidtmann, a signalé récemment l'importance que des collections de portraits photographiques embrassant plusieurs

---

(1) *La Photographie et la Chimie de la lumière*. Paris, 1877.

générations successives pourraient offrir pour l'étude des lois de l'hérédité ; il a commencé lui-même à former par ce moyen les arbres généalogiques de plusieurs familles, en disposant dans un ordre méthodique tous les portraits d'ascendants et de descendants qu'il a pu se procurer ([1]). Ses albums fourniront un jour de précieux matériaux aux anthropologistes pour la recherche des modifications que la sélection peut exercer sur la transmission héréditaire des mêmes caractères.

([1]) Stein, *das Licht*, p. 427.

III.

LES PROCÉDÉS D'IMPRESSION PHOTOGRAPHIQUE.

La gravure est sœur de l'imprimerie; l'une, en matérialisant la parole, l'autre en fixant les spectacles qui parlent aux yeux, ont permis la diffusion universelle de la pensée. La Photographie, sœur cadette, est appelée à compléter les moyens d'action de ses deux aînées, et les perfectionnements qu'elle subit chaque jour ont surtout pour but de faciliter la multiplication des épreuves et de faire ainsi de la Photographie un art vraiment industriel, applicable aux grandes publications au même titre que la gravure.

Les anciens procédés aux sels d'argent sont peu propres à remplir ce programme; les épreuves n'ont pas la solidité nécessaire, elles s'altèrent trop vite, et le tirage est lent, coûteux, sujet à toute sorte d'irrégularités. Il a donc fallu chercher la solution du problème dans une autre voie. On est effectivement arrivé à faire des épreuves inaltérables et des tirages suffisamment rapides, soit au moyen du charbon, soit par les divers modes d'impres-

sion aux encres grasses (lithographie, gravure en creux, typographie).

Les innombrables variétés de ces procédés reposent presque toutes sur les propriétés spéciales de la gélatine bichromatée, propriétés dont on doit la connaissance aux patientes recherches de Fox Talbot, de M. Pretsch, et surtout de M. A. Poitevin. Ces recherches nous ont appris que la gélatine, mélangée de bichromate de potasse, subit par l'action des rayons lumineux une sorte de tannage : elle devient insoluble, ne se gonfle plus dans l'eau froide et prend l'encre d'impression, tandis que la gélatine qui n'a pas subi l'action de la lumière se gonfle dans l'eau et ne prend pas les encres grasses. Ces propriétés donnent lieu aux applications suivantes.

Si l'on mélange à la gélatine bichromatée du charbon ou une autre matière colorante en poudre très-fine, les parties frappées par la lumière et devenues insolubles retiendront cette matière colorante, tandis que les parties restées plus ou moins solubles en seront débarrassées par le lavage à l'eau chaude.

C'est là le principe du procédé dit *au charbon*, qui commence à remplacer, dans un grand nombre de cas, les anciens procédés au collodion : une feuille de papier recouverte de gélatine colorée [1] est d'abord sensibilisée par un bain de bichromate de potasse, puis exposée à la lumière sous un cliché

---

[1] Le papier ainsi préparé s'appelle *papier mixtionné*.

ordinaire ; pour faire apparaître l'image, on trempe la feuille gélatinée dans l'eau chaude, qui enlève la couleur aux endroits que les noirs du négatif ont protégés contre l'action de la lumière et qui correspondent aux parties claires du modèle. On obtient ainsi un positif monochrome, dont le ton est déterminé par la matière colorante employée.

Les creux et les reliefs qui restent après le lavage pourront être moulés, soit par la galvanoplastie, soit par une forte pression, car, une fois sèche, la gélatine devient assez dure pour faire empreinte dans le plomb. On obtient des reliefs encore plus accentués par l'immersion de la gélatine dans l'eau froide, qui fait gonfler les parties que la lumière n'a pas tannées ; mais le moulage devient alors moins facile.

Les moules que l'on se procure par l'un ou par l'autre de ces moyens sont utilisés de diverses manières pour l'impression des images photographiques : comme moules en creux, pour un mode d'impression analogue au tirage des gravures, comme moules en relief, pour l'impression typographique. Enfin la propriété de la gélatine chromatée, de prendre l'encre d'impression lorsqu'elle a été influencée par la lumière et légèrement humectée, conduit à des applications tout à fait analogues à la lithographie, qui exige une surface sensiblement plane.

On conçoit que les procédés industriels qui découlent de ces principes se prêtent à mille com-

binaisons, à mille modifications plus ou moins heureuses; nous n'avons pas à en décrire les détails, que l'on trouvera exposés avec beaucoup d'ordre et de clarté dans l'excellent Ouvrage de M. Davanne, intitulé : *Les Progrès de la Photographie;* il nous suffira de mentionner ici les plus importants de ces procédés.

La *photoglyptie,* inventée par M. Woodbury, est un mode d'impression qui utilise les moules en creux qu'on obtient en comprimant la gélatine durcie entre un plan d'acier poli et une plaque de plomb ou de métal d'imprimerie; on verse dans ces moules une solution de gélatine teintée et chaude, comme on verse de la pâte dans un moule à gaufres, et l'on y applique une feuille de papier qui *démoule* l'image. L'épreuve est alors de tout point semblable à l'image primitive, telle qu'elle sort du bain d'eau. Mais on peut aussi, par la galvanoplastie, tirer du premier moule une planche en métal plus résistant, qui sera encrée et employée au tirage des épreuves en taille-douce. Ces procédés sont exploités en grand dans les ateliers de la maison Goupil, à Asnières, sous la direction de M. Rousselon. Il existe d'autres méthodes de gravure photographique en creux par moulage, auxquelles il faut ajouter les procédés de gravure chimique par réserves où le vernis protecteur est remplacé par la couche sensible ([1]).

([1]) Le procédé héliographique de Scamoni, qui donne de très-

La grande difficulté, c'est que l'image gravée doit être nécessairement formée par l'assemblage de traits ou de grains plus ou moins espacés, parce que les encres d'impression ne peuvent produire qu'une teinte uniforme, tandis que l'image photographique faite d'après nature présente des teintes fondues ; pour la transformer en planche gravée, il faut donc trouver un grain artificiel. La tâche est plus facile lorsqu'il s'agit de reproduire une gravure ou toute autre image faite au trait ou au grain.

Les divers modes d'impression qui utilisent des surfaces planes (impression directe ou par report sur pierre ou sur zinc, etc.) peuvent être compris sous le nom général de *photolithographie;* ils ont déjà donné des résultats fort remarquables entre les mains de MM. Poitevin, Tessié du Motay, Maréchal, Albert, Aubel, Baldus, Rodrigues, du colonel James, etc.

Le problème de la gravure en relief ou typographie photographique se trouve également résolu d'une manière déjà très-satisfaisante par le procédé appelé *gillotage* (du nom de l'inventeur Gillot). Ces divers procédés se perfectionnent tous les jours, et bientôt sans doute les obstacles que rencontre encore l'impression photographique aux encres grasses seront complétement vaincus.

---

beaux résultats, repose sur le moulage galvanoplastique d'un cliché ordinaire (au sel d'argent) dont le faible relief est préalablement renforcé par des moyens chimiques.

Le problème de la reproduction des couleurs naturelles en Photographie continue aussi d'occuper les chercheurs ; des solutions directes ou indirectes ont été proposées par divers savants. M. E. Becquerel, M. Niepce de Saint-Victor, M. Poitevin, ont réussi à imprimer directement toutes les couleurs du spectre sur des papiers sensibilisés par des sels d'argent ; malheureusement ces impressions sont trop fugitives, les épreuves pâlissent sous l'influence de la lumière du jour. En attendant qu'on découvre le moyen de fixer ces teintes fugaces, produites directement par le Soleil, voici comment des esprits ingénieux ont tenté de tourner la difficulté.

M. Charles Cros et M. Louis Ducos du Hauron ont publié à peu près simultanément, en 1869, des méthodes fondées sur le même principe : reconstitution des couleurs naturelles d'un tableau par la superposition de trois épreuves monochromes (par exemple, d'une épreuve rouge, d'une épreuve jaune et d'une épreuve bleue). On sait en effet qu'avec trois couleurs le peintre peut à la rigueur obtenir toutes les autres : le jaune et le bleu lui donnent du vert, le bleu et le rouge du violet, le rouge et le jaune des tons orangés. Le rôle de la Photographie se borne ici à fournir les trois épreuves monochromes qu'il s'agit de superposer. On les tire à l'aide de trois négatifs antichromatiques que l'on se procure par l'emploi de verres colorés offrant les teintes complémentaires de celles qu'on veut

produire. Le négatif qui sert à tirer une épreuve en rouge est obtenu par l'interposition d'un écran *vert*, qui arrête les rayons rouges; le négatif du bleu s'obtient à l'aide d'un écran orangé, et le négatif du jaune à l'aide d'un écran violet. Les trois épreuves positives, tirées en rouge, en bleu et en jaune, sont ensuite détachées de leurs supports provisoires et transportées sur un support définitif.

A première vue, on eût pu croire que ce système de photographie polychrome, ou d'*héliochromie*, comme l'appellent MM. Ducos du Hauron ([1]), rencontrerait dans la pratique d'insurmontables difficultés d'exécution. Les premiers essais du nouveau procédé laissaient en effet beaucoup à désirer. M. Léon Vidal trouva même plus avantageux de revenir purement et simplement à une sorte d'impression polychrome (*photochromie* Vidal), en tirant les épreuves monochromes à l'aide de clichés sur lesquels on a fait, par les procédés ordinaires de la retouche, des réserves à la main pour les différentes couleurs ([2]).

Si, malgré tout, MM. Ducos du Hauron sont arrivés aujourd'hui à des résultats très-remarquables, c'est que, par le choix judicieux des verres analyseurs et des papiers mixtionnés, ils ont corrigé

([1]) *Traité pratique de Photographie des couleurs*, par MM. A. et L. Ducos du Hauron frères. Paris, 1878, Gauthier-Villars.

([2]) *Traité de Photographie au charbon*, 2e édit. Paris, 1877, Gauthier-Villars.

ce qu'il y avait d'abord de vague et d'obscur dans la théorie de leur procédé. Il faut ajouter que les fondements théoriques de l'*héliochromie* se sont aussi précisés à mesure que la pratique du procédé se perfectionnait par des tâtonnements incessants. L'explication que MM. Ducos du Hauron donnent de leur système dans leur dernière publication est conforme aux données de la Science; elle repose essentiellement sur la nature complexe des couleurs naturelles.

On le sait, la superposition ou le mélange d'un pigment jaune et d'un pigment bleu donne du vert, 1° parce que les matières jaunes aussi bien que les matières bleues émettent des rayons verts; 2° parce que les matières jaunes du mélange absorbent les rayons bleus ou violets émis par les matières bleues, et celles-ci les rayons jaunes ou orangés émis par les matières jaunes. MM. Ducos du Hauron admettent donc que les points jaunes et les points bleus du tableau qu'il s'agit de reproduire émettent une certaine proportion de rayons verts qui traversent l'écran vert et agissent sur le collodion du négatif comme les rayons émanés des points verts. Le positif, étant tiré en rouge, offrira dès lors des parties blanches aux endroits correspondant aux points verts, jaunes ou bleus du tableau.

« Comme le verre ou milieu transparent de couleur verte, dit M. A. Ducos, laisse percer presque exclusivement les rayons verts, et qu'il intercepte

d'autant plus les autres rayons que leur tonalité se rapproche davantage du rouge, et comme, d'autre part, les objets de la nature qui émettent abondamment les rayons verts sont les objets jaunes, les verts et les bleus, il en résulte : que le négatif en question traduira par du noir les surfaces jaunes, les vertes et les bleues ; — que la préparation rouge du monochrome fourni par ce négatif traduira les rouges du modèle par du rouge, et par un rouge d'autant plus intense que le rouge du modèle sera plus prononcé ; — qu'enfin cette même préparation rouge sera éliminée sous les noirs du négatif, c'est-à-dire dans les parties du susdit monochrome qui correspondent aux surfaces jaunes, aux vertes et aux bleues, et que cette élimination sera d'autant plus forte que ce jaune, ce vert et ce bleu seront plus prononcés. Un raisonnement analogue s'applique à chacun des deux autres monochromes ; ils contiendront l'un et l'autre une fidèle répartition de la couleur spéciale, soit simple, soit composée, qu'ils sont tenus de représenter. La superposition des trois monochromes, adaptés mécaniquement l'un à l'autre et placés sur un fond blanc, produit la synthèse, l'image polychrome voulue. Il arrivera en effet que, sur ce fond blanc, les couleurs transparentes des trois monochromes, en se mélangeant deux à deux en diverses proportions, produiront les couleurs binaires, c'est-à-dire les orangés, les verts et les violets, et, en se mélangeant toutes les trois en

diverses proportions, s'éteindront partiellement ou totalement, et feront naître les ombres, c'est-à-dire les gris, les couleurs foncées, les bruns et le noir, tandis que le blanc naîtra de la simple absence de matière colorante sur chacun des trois monochromes. »

Pour le négatif du verre vert, MM. Ducos du Hauron faisaient d'abord usage d'un collodion bromuré contenant de l'aurine, et pour le négatif du verre orangé, de glaces collodionnées, traitées par une solution de chlorophylle. La complication qui résultait de cette multiplicité des préparations sensibles a disparu aujourd'hui, grâce à l'emploi du collodion à l'éosine, qui est également sensible à la lumière violette, à la lumière verte et à la lumière orangée. L'éosine doit être associée au bromure d'argent.

Les nuances exactes des trois verres de couleur s'obtiennent comme il suit. Une couche de vernis jaune-maïs, étendue sur une couche du vernis dit *rose cochenille*, donne le vert orangé. Le milieu vert est formé par une couche de vert Metternich, ou bien de vernis blanc mêlé d'un peu de vernis bleu-lumière. Enfin, le verre violet peut être obtenu par une couche de vernis violet-pensée.

Ces trois écrans ou verres analyseurs opèrent le triage des rayons émanés du tableau qu'il s'agit de reproduire. L'écran orange arrête les rayons bleus et fournit le négatif du bleu ; le positif est tiré sur papier mixtionné au bleu de Prusse. De même

l'écran vert arrête les rayons rouges, et l'écran violet les rayons jaunes ; on se procure ainsi les négatifs du rouge et du jaune, et les positifs correspondants sont tirés sur papier mixtionné au carmin et à l'orpiment (jaune d'or). Les positifs monochromes sont ensuite détachés de leurs supports respectifs, et l'on superpose les trois pellicules transparentes sur un support définitif. Ce qui constitue une garantie inespérée de succès, c'est qu'avec le collodion bromuré à l'éosine le choix des nuances des trois verres analyseurs n'a plus une importance capitale.

« Le collodion bromuré à l'éosine n'a pas besoin qu'un triage savant et complet des rayons lumineux lui envoie par trois fois, à l'exclusion de tous les autres, ceux qui doivent concourir à l'image qu'on attend de lui ; un triage approximatif lui suffit, il se charge de le parachever, c'est-à-dire de tenir pour non avenus les rayons qui sont de trop, et de ne tenir compte que des rayons utiles. Il y a, dans l'opération qui s'accomplit, quelque chose qui ressemble au travail de deux tamis, l'un grossier, c'est le milieu coloré, et l'autre fin, c'est l'éosine. »

Les spécimens des travaux de MM. Ducos du Hauron qui figurent à l'Exposition universelle prouvent que l'héliochromie a un grand avenir ; on admire surtout deux paysages où les nuances du feuillage sont rendues avec une merveilleuse finesse. Or les inventeurs n'ont pas encore dit leur dernier mot.

On le voit, il est permis d'affirmer que la partie technique de la Photographie a fait, dans ces dernières années, de notables progrès au double point de vue de la production de l'image et de la multiplication des épreuves. Les procédés se sont simplifiés, et les résultats sont devenus plus parfaits. Rendue ainsi plus accessible aux profanes, la Photographie est en voie d'obtenir droit de cité dans les laboratoires des savants, qui apprennent enfin à tirer parti eux-mêmes de cette rétine artificielle qui remplace si bien les yeux ; dispensés de réclamer l'assistance d'un photographe de profession, ils ne risqueront plus d'introduire dans leurs travaux un élément étranger dont ils ne sont pas maîtres et qui parfois se plie mal aux exigences de chaque problème particulier. Ils sauront d'ailleurs largement payer les services que leur rendra ce nouvel auxiliaire, car tout fructifie entre leurs mains.

APPENDICE.

LA THÉORIE DES COULEURS APPLIQUÉE A L'ART ET A L'INDUSTRIE.

M. W. de Bezold, professeur à l'École polytechnique de Munich, a publié, il y a quelques années, un ouvrage sur la *Théorie des couleurs considérée dans ses rapports avec l'art et l'industrie*. Son livre, qui s'adresse aux gens du monde, renferme des aperçus neufs et curieux sur l'application des principes de l'Optique aux arts décoratifs et à la peinture. L'édition américaine, que j'ai sous les yeux (1), a été enrichie de notes par M. Pickering; je tâcherai d'en extraire ce qui m'a frappé à la lecture.

Tout le monde sait aujourd'hui que le mélange des *matières colorées* est loin de donner les mêmes résultats que le mélange des *couleurs,* que l'on peut opérer de différentes manières par la super-

(1) *The Theory of colors in its relation to art and industry*, by W. von Bezold. Translated by Kœhler, with an introduction by E.-C. Pickering. Boston, 1876. L. Prang.

position des images que reçoit la rétine. En effet, dans ce dernier cas, la sensation produite résulte de la somme des impressions lumineuses provoquées séparément par chacune des couleurs qu'on emploie. Dans le cas du mélange de deux matières colorées, au contraire, l'impression finale est le résultat de deux absorptions ou soustractions successives que les deux pigments ont fait subir à la lumière blanche. Ainsi la gomme-gutte paraît jaune, parce qu'elle élimine du spectre le bleu et le violet, tandis que le bleu de Prusse paraît bleu, parce qu'il absorbe surtout le rouge et l'orangé; il sensuit qu'un mélange de gomme-gutte et de bleu de Prusse absorbera les deux extrémités du spectre et ne laissera intacte que la partie moyenne, de sorte que le résultat sera une teinte verte. Au contraire, la superposition directe du jaune et du bleu donne du blanc (ou du moins un gris assez clair). C'est ainsi qu'on obtient du blanc par le mélange des couleurs *complémentaires* suivantes :

Pourpre;	Vert;
Rouge;	Vert bleu;
Orangé;	Bleu;
Jaune;	Outremer;
Jaune vert;	Violet.

J'appelle ici simplement *bleu* le bleu clair que M. Helmholtz appelle *bleu cyanique* et M. de Bezold *bleu turquoise;* de même, j'appelle *outremer,* avec M. de Bezold, le bleu foncé que les physiciens

désignent improprement sous le nom d'*indigo*. Le pourpre est la couleur qu'on obtient par le mélange du rouge et du violet : elle n'existe pas dans le spectre solaire; mélangée de blanc, elle donne des tons roses.

Le rouge, dont la couleur complémentaire est le bleu verdâtre, donne, avec le bleu d'outremer, un rose foncé; avec le bleu clair, un rose blanchâtre; avec le vert bleu, du blanc; avec le vert, un jaune blanchâtre; avec le jaune vert, du jaune d'or, et avec le jaune, de l'orangé. On obtient encore un rose blanchâtre par le mélange de l'orangé et du bleu d'outremer, ou bien du jaune et du violet. Mais la nuance résultante varie beaucoup, selon la proportion dans laquelle on mêle les deux couleurs élémentaires. Dans quelques cas, le mélange des couleurs donne le même résultat que le mélange des matières colorées correspondantes; mais, en général, le résultat est différent.

On ne saurait donc prendre pour base d'une théorie rationnelle les résultats obtenus avec des mélanges de pigments, ou avec des combinaisons transparentes de verres de couleurs ou de liquides colorés. Une expérience curieuse, due à M. Strutt, peut servir à mettre en lumière ces principes. Si l'on regarde une surface blanche à travers une solution jaune de bichromate de potasse et une solution bleue de tournesol, placées l'une derrière l'autre, la surface blanche paraît non pas verte, mais *jaune*. Et pourtant la lumière, ainsi tamisée par les

deux solutions, ne renferme pas de rayons jaunes; l'analyse prismatique montre qu'elle ne contient que du rouge et du vert, tandis qu'à la place du jaune il y a une large bande noire. C'est le mélange de rouge et de vert qui produit ici une teinte jaune. Si nous remplaçons la teinture de tournesol par le sulfate de cuivre, la solution bleue et la solution jaune donneront ensemble du vert. Ces exemples prouvent combien il est difficile de prévoir l'effet que donnera le mélange de deux pigments, ou de deviner à première vue de quoi se compose une couleur naturelle.

On comprendra aussi maintenant pourquoi les *équivalents chromatiques* de Field n'ont aucune valeur. D'après Field, les couleurs qu'on emploie dans l'ornementation doivent être choisies et distribuées de manière que l'ensemble, vu de loin, se confonde dans une teinte grise (1). Les équivalents chromatiques sont censés indiquer les proportions dans lesquelles il faut employer les couleurs usuelles pour que le mélange donne un gris neutre. Mais Field les a déterminées à l'aide de solutions colorées, et nous avons vu que cette méthode ne saurait conduire à des résultats exacts.

---

(1) On a voulu justifier cette règle en disant que la prédominance d'une couleur particulière a pour effet d'émousser la sensibilité de la rétine pour cette couleur et de provoquer la sensation de la couleur complémentaire; si le rouge prédomine, nous dit-on, l'œil finira par voir vert, et tout semblera faux. Mais M. de Bezold n'admet pas ce raisonnement.

En effet, les proportions conseillées par Field ne donnent nullement du gris lorsqu'on les suit dans l'exécution d'un dessin. Ajoutons que, d'après M. de Bezold, le principe même d'où il part est faux, car les plus belles toiles des grands peintres, comme les ornements les plus admirés, ne revêtent nullement une teinte grise lorsqu'on les regarde de loin; au contraire, ils présentent alors une teinte caractéristique ou couleur *dominante*. Pour ne citer qu'un exemple à l'appui, on connaît les effets que certains peintres modernes ont réalisés avec leurs « symphonies en bleu majeur », ou leurs « variations jaunes ».

Les lois du mélange des couleurs conduisent immédiatement à la classification des couleurs. On sait que les couleurs spectrales sont très-loin d'épuiser les nuances que l'on rencontre dans la nature (les Romains en avaient, dit-on, 30 000 dans leurs mosaïques). Mais on peut arriver à représenter toutes les nuances possibles par des mélanges, et en ajoutant du noir ou du blanc.

On sait que M. Chevreul a tenté de mettre de l'ordre dans le chaos des couleurs usuelles par la construction de son *cercle chromatique*. On commence par distribuer, sur une circonférence, les couleurs franches, représentées par soixante-douze nuances, dérivées de trois couleurs principales (rouge, jaune, bleu), entre lesquelles se placent d'abord l'orangé, le vert et le violet, puis les nuances intermédiaires obtenues par le

mélange des couleurs voisines, en proportions diverses. A chaque nuance, on peut maintenant donner une infinité de *tons,* soit en l'éclaircissant avec du blanc, soit en la rabattant avec du noir. Le mélange avec du blanc affaiblit ou abaisse le ton, le mélange avec du noir le fonce et l'élève. M. Chevreul adopte, pour chaque nuance, une gamme de vingt tons, depuis le blanc pur jusqu'au noir. Il place au centre du cercle chromatique le blanc, et à la circonférence le noir; les tons successifs sont délimités par vingt circonférences concentriques, dont la dixième, à partir du centre, porte les couleurs franches. Le cercle chromatique comprend donc soixante-douze secteurs, divisés chacun en vingt cases qui représentent les vingt tons d'une nuance donnée : cela forme un ensemble de 1440 couleurs.

On a aussi disposé les mêmes couleurs sur une sphère dont l'équateur est formé par les couleurs franches, tandis que les deux pôles sont représentés par une tache blanche et une tache noire; les couleurs se foncent sur chaque méridien en allant vers le pôle noir, et s'éclaircissent en allant vers le pôle blanc. Au lieu d'une sphère, on pourrait employer un cylindre, ou même simplement un rectangle, dont la base inférieure serait bordée de noir et la base supérieure bordée de blanc, la zone moyenne représentant toujours les couleurs franches. Malheureusement, le principe même du cercle chromatique n'est point

d'accord avec les lois du mélange des couleurs.

En effet, le mélange avec du noir équivaut à une diminution d'intensité, car les couleurs rabattues qu'on obtient par ce mélange peuvent aussi être obtenues en éclairant de moins en moins une surface peinte avec une couleur franche. On sait que, quand le jour fuit, toutes les couleurs s'assombrissent et tournent au noir. Mais le mélange avec du blanc n'équivaut pas à une augmentation d'intensité; les couleurs blanchies ne sont nullement des couleurs franches plus intenses: ce sont des couleurs imparfaitement *saturées* ([1]). On voit que M. Chevreul confond sous le nom de *tons* deux modifications essentiellement différentes. Aussi le cercle chromatique ne renferme-t-il pas la gamme du blanc, c'est-à-dire la série des tons gris qui représentent les mélanges de blanc et de noir; on n'y trouve pas non plus les mélanges des couleurs avec du noir et du blanc (à la fois). On a voulu corriger cette imperfection du cercle chromatique en y ajoutant neuf cercles chromatiques, uniformément rabattus avec du noir; mais, de cette manière, beaucoup de couleurs sont nécessaire-

---

([1]) On peut pourtant se demander pourquoi les couleurs franches très-intenses tournent au blanc, pourquoi, par exemple, une surface jaune, fortement éclairée, nous paraît presque blanche. Je crois que, dans beaucoup de cas, il se mêle réellement du blanc aux couleurs que produit une lumière très-vive (par suite d'une absorption incomplète dans le cas des couleurs dues à des phénomènes d'absorption, et par suite des réflexions intérieures dans le cas des couleurs fournies par des prismes).

ment répetées plusieurs fois dans les cercles successifs.

M. de Bezold pense donc qu'il faut revenir au *cône chromatique* de Lambert, dont la construction est d'accord avec les principes établis par Helmholtz et Maxwell. D'après ces principes, toute sensation colorée dépend de trois facteurs qui la déterminent complétement, et pour lesquels on peut prendre :

1° Une couleur franche, définie par sa longueur d'onde (qui indique ce que M. Chevreul appelle la *nuance*, et M. Helmholtz le *ton*);

2° L'*intensité* lumineuse de cette couleur, que l'on peut aussi déterminer par la quantité de noir qu'on ajoute à l'intensité normale;

3° Le *degré de saturation* ou de *pureté* qui dépend de la quantité de blanc mêlée à la couleur franche.

Pour obtenir toutes les couleurs possibles, il faut donc former un cercle chromatique avec un certain nombre de nuances franches, distribuées sur la circonférence extrême, et dégradées successivement par le mélange avec des proportions croissantes de blanc, depuis le bord jusqu'au centre, qui est occupé par le blanc. Nous conserverons, comme on le voit, la partie centrale du cercle chromatique de M. Chevreul, formée par les « tons affaiblis », que nous appellerons désormais *degrés de saturation* ou *de pureté*. On forme ensuite une série de cercles semblables en diminuant successi-

vement l'intensité lumineuse des couleurs contenues dans le premier (en les rabattant avec du noir).

La superposition de ces cercles donnerait une colonne cylindrique terminée par un disque noir [1]; mais il convient de diminuer le diamètre des cercles à mesure que les couleurs sont plus foncées, de sorte que leur superposition donne un cône, terminé par une pointe noire. L'axe du cône est occupé par la gamme des tons gris qui résultent des mélanges de noir et de blanc ; la surface extérieure représente les couleurs franches rabattues jusqu'au noir ; la base est occupée par les couleurs plus ou moins saturées, mais ayant chacune son maximum d'intensité (l'intensité 1).

Une section horizontale prise au tiers de la hauteur du cône (à partir du sommet) contient toutes les couleurs d'intensité $\frac{1}{3}$. Un cercle concentrique tracé sur la base avec le rayon $\frac{1}{4}$ comprend les couleurs d'intensité 1 et de saturation $\frac{1}{4}$; toutes les autres couleurs qui ont le même degré de saturation se trouvent sur le cône concentrique qui passe par ce cercle, et qui a l'ouverture $\frac{1}{4}$.

---

(1) Le développement du cercle chromatique de M. Chevreul donnait, non pas un cylindre plein, mais une *surface* cylindrique.

Une couleur quelconque est définie par sa position dans l'intérieur du cône ; ce dernier étant placé la pointe en bas, la hauteur verticale d'une couleur donnera son intensité, l'ouverture du cône concentrique où elle se trouve donnera son degré de saturation, et son azimut (l'orientation du plan qui passe par la couleur en question et par l'axe du cône) déterminera sa nuance.

Quelles sont maintenant les nuances qu'il faut adopter pour la construction du cône chromatique ? M. de Bezold prend pour point de départ dix couleurs qui forment cinq couples de couleurs complémentaires :

Rouge, / Vert bleu ;	Orangé, / Bleu ;	Jaune, / Outremer ;
Jaune vert, / Violet ;	Vert, / Pourpre.	

Les longueurs d'ondes de deux couleurs complémentaires sont à peu près dans le rapport de 4 : 5, qui est celui de la tierce majeure (d'après M. Helmholtz, le rapport varie entre 1 : 1.20 et 1 : 1.33) ; mais on remarquera que le pourpre, couleur composée qui n'existe pas dans le spectre, n'est pas défini par une longueur d'onde particulière.

Cependant M. de Bezold constate que la différence entre le jaune vert et le vert, ou le vert et le vert bleu par exemple, est beaucoup moins sensible que celle qui existe entre les couleurs complémentaires (violet et pourpre, pourpre et rouge),

de sorte qu'un faible changement de la nuance du vert entraîne un changement assez considérable pour la couleur complémentaire ([1]). Pour avoir une série de couleurs fondamentales séparées par des différences égales, il subdivise le violet en violet bleu et violet pourpré, et de même le rouge en carmin et vermillon (cramoisi et écarlate). Il obtient ainsi une échelle de douze nuances équidistantes; mais ces nuances n'occupent pas toutes la même étendue sur la circonférence, car le violet pourpré, le pourpre et le carmin s'y trouvent ensemble opposés au seul vert, qui remplit le secteur le plus large, tandis que les trois couleurs qui viennent d'être citées occupent les secteurs les plus étroits. Les douze nuances fondamentales de M. de Bezold s'accorderaient avec le cercle chromatique de M. Chevreul en supprimant l'outremer et en ajoutant l'orangé jaune. Ensuite on peut intercaler un nombre suffisant de nuances intermédiaires. L'intensité relative moyenne des couleurs principales doit être réglée sur l'intensité relative des teintes d'un spectre normal (d'un spectre d'interférence); avec ces intensités relatives, on obtient, paraît-il, les meilleures combinaisons de couleurs complémentaires.

Une difficulté que cette théorie néglige, c'est

([1]) Cette circonstance explique, jusqu'à un certain point, les difficultés que rencontre l'emploi du vert dans la peinture. Le vert est l'écueil des novices.

que la saturation et même la nuance des couleurs spectrales changent un peu avec l'intensité de la lumière. Nous avons déjà dit que les couleurs blanchissent quand la lumière augmente. Le violet se rapproche alors d'un gris blanchâtre ; le bleu foncé passe au bleu de ciel, devient blanchâtre et enfin blanc ; le vert devient jaunâtre, puis blanc ; le jaune devient blanc sans intermédiaire. Quand la lumière diminue, le violet se rapproche du pourpre, le bleu passe au bleu violet, le jaune tourne à l'orangé (avec une lumière faible, la raie D semble située dans l'orangé, et avec une lumière forte dans le jaune). C'est surtout dans la région du violet et de l'ultra-violet que ces changements sont sensibles. On sait aussi que le bleu mélangé avec beaucoup de blanc tourne au violet ([1]).

Quoi qu'il en soit, si nous adoptons le système de représentation des couleurs qui vient d'être exposé, toutes les teintes situées dans l'intérieur

---

([1]) Les récentes expériences du professeur O.-N. Rood, de New-York, ont montré que, mélangées de blanc, toutes les couleurs, excepté le violet et le jaune verdâtre, changent de nuance en se rapprochant du violet : les nuances du vert et du bleu deviennent plus réfrangibles ; celles du jaune, de l'orangé, du rouge, deviennent moins réfrangibles et semblent ainsi marcher vers le violet en sens inverse, comme fait aussi le pourpre mélangé de blanc. On obtient le même résultat par le mélange avec du violet. M. Rood en conclut que le violet doit être adopté comme couleur fondamentale à la place du violet bleu de Bezold. — M. Chevreul a récemment repris ses expériences sur les effets de contraste observés à l'aide de cercles rotatifs ; il a trouvé que le noir se comportait souvent comme un bleu violet foncé.

d'un cercle s'obtiennent par le mélange des couleurs franches avec du blanc. Mais on peut aussi obtenir chacune de ces teintes d'une infinité de manières par le mélange de deux couleurs franches. Les teintes qui résultent du mélange de deux couleurs franches en proportions diverses sont situées sur la corde qui joint ces deux couleurs.

Il est même prouvé que toutes les teintes possibles peuvent être obtenues par le mélange de *trois couleurs fondamentales*, pour lesquelles il convient de prendre le rouge, le vert et le bleu d'outremer. On se trouve ainsi conduit à remplacer le cercle par un *triangle chromatique* dont les sommets sont occupés par les trois couleurs fondamentales. Mais il faut prendre pour ces trois couleurs un rouge, un vert et un bleu encore plus saturés que les teintes spectrales qui portent ces noms. De pareilles couleurs existent : ce sont les couleurs subjectives des images accidentelles ([1]). Alors l'intérieur du triangle contiendra toutes les couleurs possibles, dérivées par mélanges successifs du rouge, du vert et du bleu, et l'on pourra y découper un cercle chromatique ordinaire.

On sait que, d'après la théorie d'Young, remise

([1]) En épuisant la sensibilité de la rétine pour une certaine couleur, on provoque l'apparition d'une image subjective complémentaire ; si alors on regarde en même temps la région du spectre qui a la couleur de cette image subjective, elle semble couverte d'un nuage blanchâtre, qui est comme balayé à l'endroit où empiète l'image subjective.

en vigueur par M. Helmholtz, ces faits s'expliquent par l'existence de trois sortes de fibres nerveuses dont l'excitation donne respectivement la sensation du rouge, du vert et du bleu foncé (ou du violet) Chaque couleur spectrale excite d'ailleurs les trois sortes de fibres, mais avec des intensités très-différentes. Ainsi l'orangé simple excite fortement les fibres du rouge, faiblement celles du vert, très-peu celles du violet, sensation : orangé. Le jaune simple excite modérément les fibres du rouge et du vert, faiblement celles du violet, sensation : jaune, etc. ([1]).

Un résultat de cette théorie, fort important au point de vue esthétique, c'est que le jaune ne doit pas être considéré comme une couleur fondamentale. Dans le spectre même, il paraît toujours beaucoup moins saturé que le rouge, le vert et le bleu foncé. Aussi peut-on constater que, parmi les couleurs employées en ornementation, le jaune occupe une place à part. Tandis que, dans les ornements mauresques, le rouge, le vert et le bleu sont les couleurs des surfaces, le jaune (ou plutôt l'or) est employé pour les filets, moulures, clous, etc., à peu près comme le blanc (ou l'argent). Même en héraldique, le jaune ne compte pas comme couleur ; il représente simplement l'or.

M. de Bezold ne connaissait pas encore les découvertes de MM. Boll et Kühne, d'après lesquelles

---

([1]) Helmholtz, *Optique physiologique*, p. 382.

l'impression lumineuse résulte d'une action photochimique qui s'exerce sur les couches sensibles de la rétine et qui fait pâlir la « pourpre visuelle ». L'étude approfondie de ces réactions chimiques dissipera sans doute les obscurités qui restent encore dans la théorie des sensations colorées. D'après les récentes recherches de M. P. Chastaing (1), l'action chimique du spectre sur les composés binaires et les sels est réductrice, c'est-à-dire désoxydante ou hydrogénante du côté du violet, et oxydante ou déshydrogénante du côté du rouge; elle peut être représentée par une courbe à deux branches, séparées par un point neutre qui se trouve entre les raies D et E, dans le jaune vert (là où les couleurs chaudes se séparent des couleurs froides). Peut-être un phénomène analogue a-t-il lieu pour la rétine, et les actions chimiques sont-elles de nature opposée des deux côtés d'une ligne médiane, séparant deux groupes de couleurs. Ces deux groupes sont probablement complémentaires l'un de l'autre. Les actions chimiques pourraient encore, ici comme dans l'actinomètre de M. Becquerel, donner lieu à des courants électriques. Tout cela finira par s'éclaircir quand nous connaîtrons toutes les conséquences des découvertes nouvelles dont je viens de parler.

---

(1) Thèse présentée à la Faculté des Sciences de Paris (avril 1877). — Il est vrai que M. H. Vogel conteste absolument les résultats de M. Chastaing.

Parmi les phénomènes subjectifs auxquels donnent naissance les combinaisons de couleurs et qui intéressent plus spécialement les artistes, les plus importants sont ceux du contraste simultané. On sait que le contraste modifie la nuance, l'intensité et la saturation des couleurs. Ce sujet a été magistralement traité par M. Chevreul, et nous pouvons nous dispenser de nous y arrêter. Nous dirons seulement quelques mots des applications pratiques que M. de Bezold a tenté de faire de la classification théorique des couleurs qui vient d'être exposée.

Au point de vue des arts décoratifs, M. de Bezold établit trois ordres de couleurs : 1° l'or et l'argent, dont les succédanés sont le jaune et le blanc; ce sont plutôt des moyens d'ornementation que des couleurs proprement dites; 2° les couleurs franches ou saturées ayant leur intensité normale; 3° les couleurs affaiblies, à savoir les couleurs sombres (mêlées de noir), les couleurs pâles (mêlées de blanc) et les couleurs rompues (mêlées de noir et de blanc).

En ce qui concerne les combinaisons de couleurs, il réfute la théorie de Field, adoptée par Owen Jones, dans sa *Grammaire des arts d'ornement*, et d'après laquelle les combinaisons doivent être choisies parmi les couleurs complémentaires, de manière que, vues à distance, elles donnent du blanc (ou du gris). Les couples complémentaires ne constituent pas, en général, les meilleures combinaisons, et les planches mêmes

de Jones n'en fournissent que très-peu d'exemples. Les combinaisons les plus agréables s'obtiennent, d'après M. de Bezold, *en associant toujours deux couleurs séparées par six intervalles du cercle chromatique à douze nuances équidistantes;* on a ainsi les six couples suivants :

Pourpre, Vert;	Carmin, Vert bleu;	Vermillon, Bleu;
Orangé, Outremer;	Jaune, Violet bleu;	Jaune vert, Violet pourpré.

Le premier couple seul est franchement complémentaire, les autres ne le sont qu'à peu près. Le troisième couple, rouge et bleu, est celui qui a été le plus employé.

On peut maintenant, d'après le même principe, former des triades de couleurs espacées de trois intervalles :

Pourpre, Jaune, Bleu;	Carmin, Jaune vert, Outremer;
Vermillon, Vert, Violet bleu;	Orangé, Vert bleu, Violet pourpré.

La première triade était affectionnée de Paul Véronèse; la seconde se rencontre fréquemment chez les peintres de l'école italienne, mais le jaune vert est souvent remplacé par du vert-olive. On peut encore rehausser ces combinaisons par des

ornements d'or et d'argent ; seulement il faut éviter d'employer l'or à côté du jaune.

Lorsqu'il s'agit de choisir quatre couleurs, il est bon de prendre *deux couples voisins* parmi ceux qui constituent de bonnes combinaisons, par exemple :

Pourpre,	Rouge,
Vert,	Bleu,

et de les faire alterner, comme cela se voit sur des tapis de cachemire.

Les remarques que M. Bezold présente sur les combinaisons des couleurs intéresseront beaucoup les artistes. Peut-être n'a-t-il pas suffisamment tenu compte d'un fait bien connu, à savoir que les associations de couleurs employées par les peintres varient beaucoup suivant l'effet psychologique qu'ils veulent produire. Quand l'expression doit être douce, calme, effacée, on n'aura pas recours aux mêmes oppositions de couleurs que dans les cas où l'on cherche une expression vive, franche, énergique ; on préférera les dégradations de tons aux transitions brusques. Luini, dans ses fresques, entremêle des draperies d'un violet, d'un vert et d'un bleu pâles. Au contraire, des peintres d'un tempérament énergique rechercheront les combinaisons un peu dures de couleurs franchement complémentaires. C'est cet élément psychologique qu'il ne faut point négliger en discutant le choix des couleurs employées dans un tableau.

En somme, on peut dire que l'Optique physiologique est arrivée à répandre beaucoup de jour sur les principes qui ont instinctivement guidé les grands peintres et les peuples chez lesquels se sont développés les arts décoratifs ; mais il reste encore bien des points obscurs à élucider.

TABLE DES MATIÈRES.

	Pages.
I. — La Photographie céleste	6
Photographies lunaires	10
Photographies du Soleil	14
Éclipses	21
Passages de Vénus	24
Photographie des étoiles	30
Achromatisme chimique	38
II. — Photographie terrestre	39
Paysages. — Monuments	39
Enregistreurs météorologiques	52
Applications à la Physique et à la Physiologie	60
Photomicrographie	65
III. — Les Procédés d'impression photographique	70
Photographie des couleurs	75
APPENDICE. — La Théorie des couleurs appliquée à l'art et à l'industrie	82



Paris. — Imp. Gauthier-Villars, quai des Grands-Augustins, 55.